



行政院農業委員會
水土保持局

技術研究發展小組
RESEARCH AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT TEAM



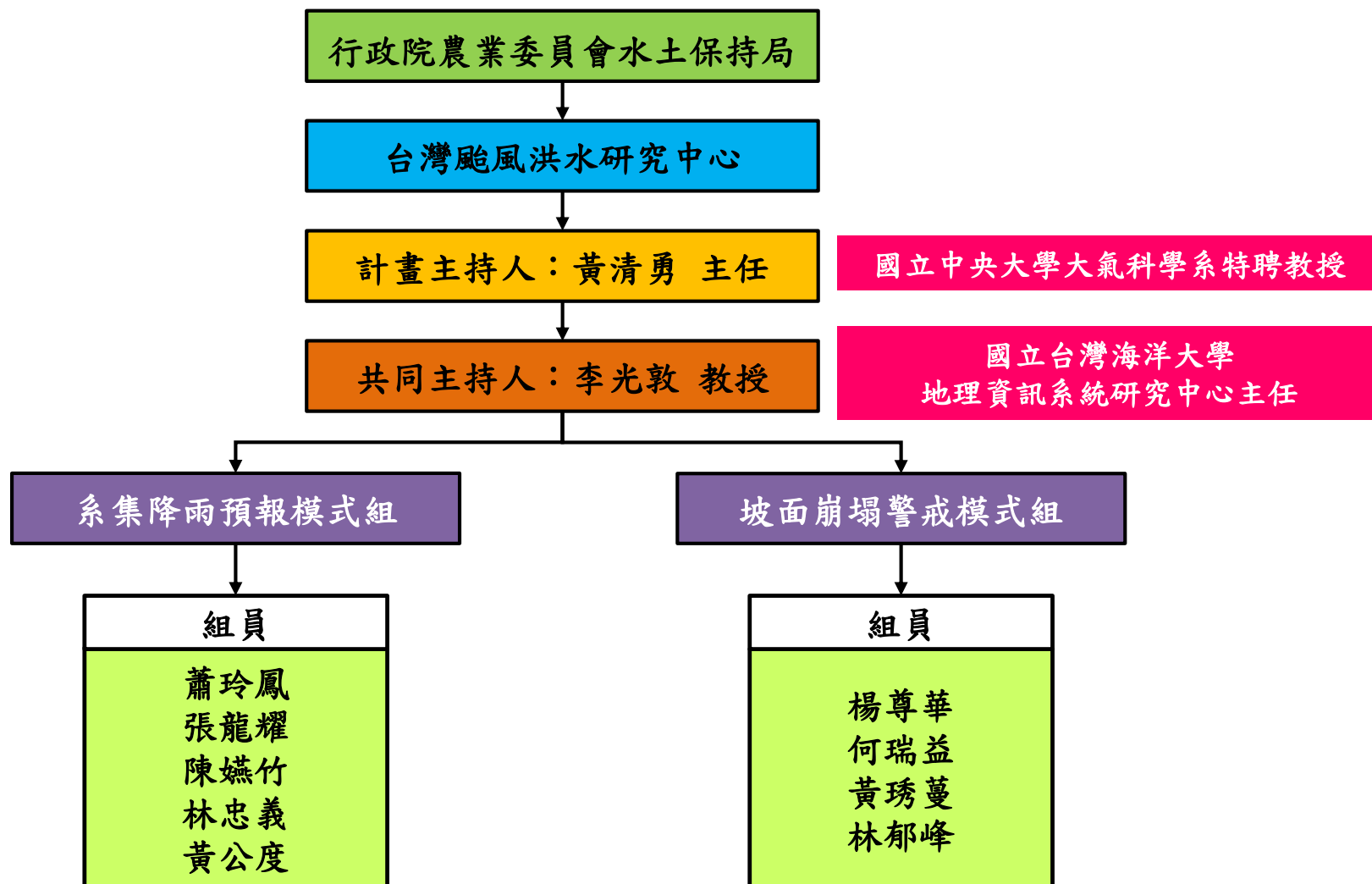
NARLabs 國家實驗研究院
台灣颱風洪水研究中心
Taiwan Typhoon and Flood Research Institute

結合系集降雨預報之坡面崩塌警戒模式開發

財團法人國家實驗研究院台灣颱風洪水研究中心

報告人：何瑞益

執行團隊組織架構



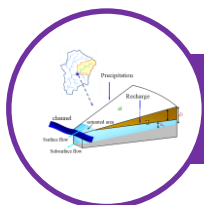
研究背景與目的

- 臺灣山區地形陡峭與地質脆弱，再加上颱風來臨時所帶來的豐沛雨量，往往造成坡面崩塌。若能發展**物理型淺層崩塌預警機制**，配合降雨預報資訊，將可在災前掌握颱風與豪雨動態，分析可能致災之時間與位置。
- 本研究結合**雷達資料同化技術**、**系集定量降雨預報**與**坡面崩塌警戒模式**，以發展防災資訊整合作業系統為目標，提供主管單位進行災害潛勢分析，將可提升決策者在**颱洪期間應變能力**，減少災害發生時可能產生的人員與財務損失。

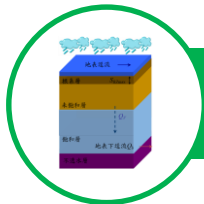
研究流程



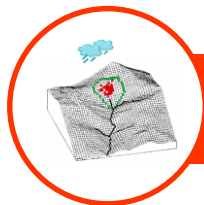
定量降雨預報



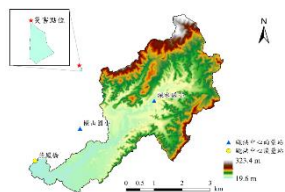
地形性水文模式



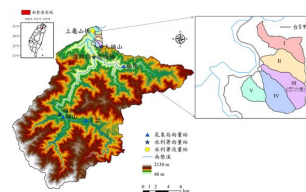
表層土壤飽和水位與土壤厚度推求



物理型淺層崩塌警戒模式



燕巢東燕里示範集水區

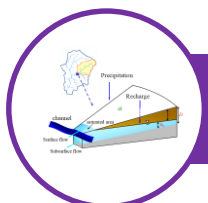


烏來忠治里示範集水區

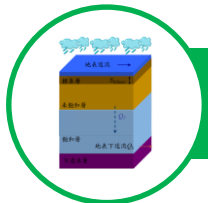
定量降雨預報



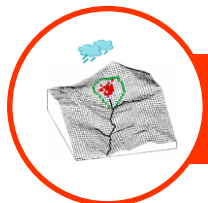
定量降雨預報



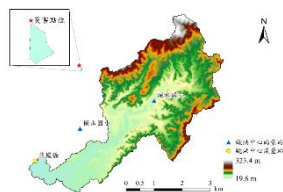
地形性水文模式



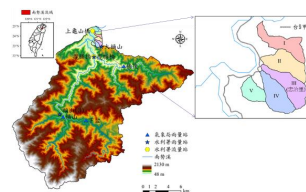
表層土壤飽和水位與土壤厚度推求



物理型淺層崩塌警戒模式



燕巢東燕里示范集水區



烏來忠治里示范集水區

定量降雨預報

兩種定量降雨預報 名稱與規格



台灣颱風洪水研究中心
系集定量降雨預報



台灣颱風洪水研究中心
雷達同化技術之定量降雨預報

預報頻率	每日4次	每1小時
模式啟動時間	本地時間02、08、14、20時	本地時間整點
模式演算需時	約6小時	約1小時
預報時間長度	78小時 (須扣除6小時計算時間)	7小時 (須扣1小時計算時間)
模式成員數	共20組成員	1組

本研究崩塌預警模式主要使用1至6小時雨預報資料。

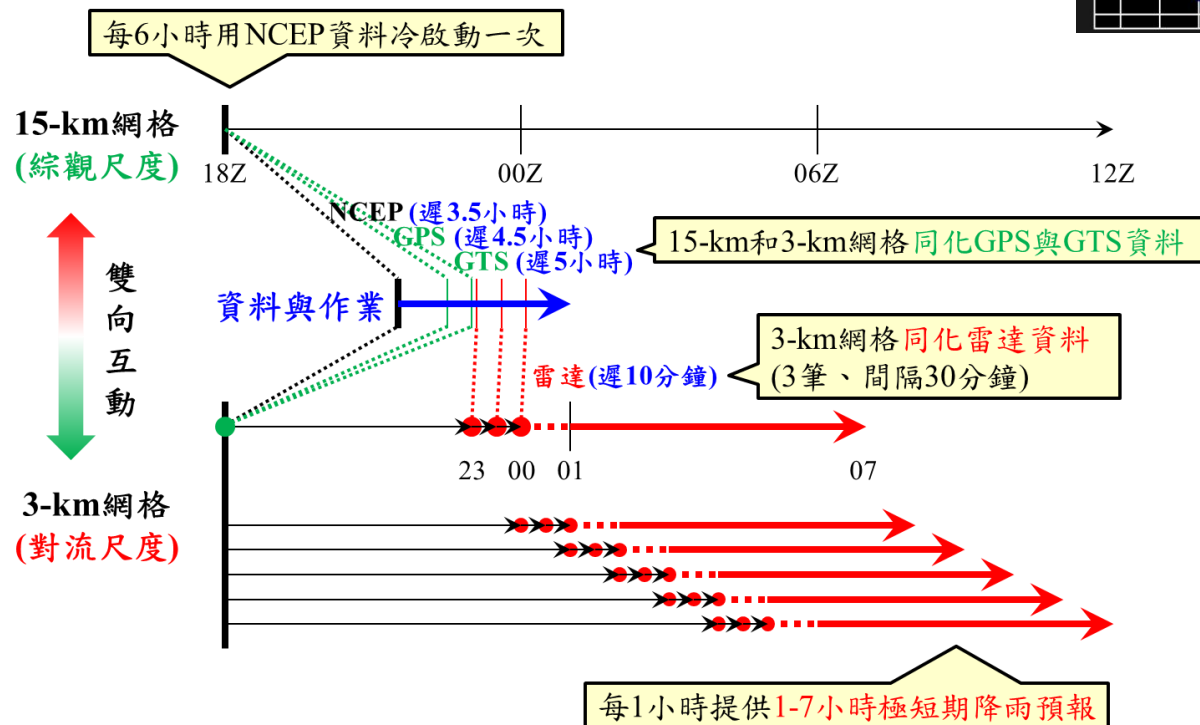
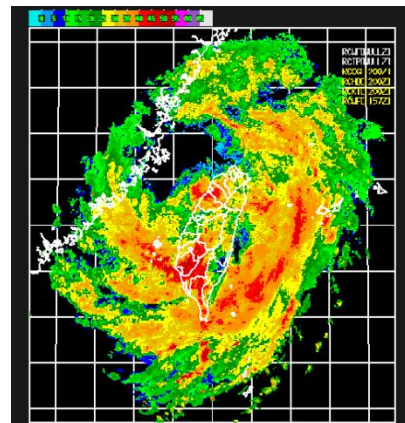
定量降雨系集預報實驗成員

編號-群組	model		ICs		LBCs	Cumulus scheme	Microphysics scheme	Boundary Layer	note
11-C1	WRF	partial cycle	3DVAR (CV5+OL)		NCEPGFS	KF	Goddard	YSU	with blending, 2way
01-C2	WRF	partial cycle	3DVAR (CV5+OL)		NCEPGFS	GD	Goddard	YSU	
02-C3	WRF	partial cycle	3DVAR (CV5+OL)		NCEPGFS	G3	Goddard	YSU	
03-C4	WRF	partial cycle	3DVAR (CV5+OL)		NCEPGFS	BMJ	Goddard	YSU	
06-C5	WRF	cold start	3DVAR (CV5+OL)		NCEPGFS	KF	Goddard	YSU	
07-C6	WRF	cold start	3DVAR (CV5+OL)		NCEPGFS	GD	Goddard	YSU	
08-C7	WRF	cold start	3DVAR (CV5+OL)		NCEPGFS	G3	Goddard	YSU	
09-C8	WRF	cold start	3DVAR (CV5+OL)		NCEPGFS	BMJ	Goddard	YSU	
10-I1	WRF	partial cycle	3DVAR (CV3)		NCEPGFS	KF	Goddard	YSU	with blending
12-I2	WRF	partial cycle	3DVAR (CV3)		CWBGFS	KF	Goddard	YSU	with blending
04-I3	WRF	partial cycle	3DVAR (CV5)		NCEPGFS	KF	Goddard	YSU	
05-I4	WRF	partial cycle	3DVAR (CV5+OL)		NCEPGFS	KF	Goddard	YSU	no RO data; VS 11 with blending, 2way
13-I5	WRF	cold start	3DVAR (CV3)		NCEPGFS	KF	Goddard	YSU	
14-I6	WRF	cold start	3DVAR (CV5)		NCEPGFS	KF	Goddard	YSU	
15-I7	WRF	cold start	3DVAR (CV5+OL)		NCEPGFS	KF	Goddard	YSU	no RO data; VS 06
16-O1	CreSS	cold start	NODA		NCEPGFS	No CPS	Cold rain	Mellor and Yamada	grid size 5km
17-O2	CreSS	cold start	NODA		NCEPGFS	No CPS	Cold rain	Mellor and Yamada	grid size 2.5 km
18-O3	WRF	cold start	NODA		NCEPGFS	KF	WSM5	YSU	e_vert=28,two way,d03cu
19-O4	MM5	cold start	NODA		NCEPGFS	Grell	Goddard	MRF	
20-O5	MM5	cold start	4DVAR	bogus	NCEPGFS	Grell	Goddard	MRF	
21-H1	HWRF	cold start	NODA		NCEPGFS	SAS	Ferrier	NCEP GFS	27/9/3
22-H2	HWRF	cold start	NODA	HWRF bogus	NCEPGFS	SAS	Ferrier	NCEP GFS	27/9/3, moving nested
23-C9	WRF	partial cycle	3DVAR (CV5+OL)		NCEPGFS	Tiedtke	Goddard	YSU	cu=Tiedtke
24-C10	WRF	cold start	3DVAR (CV5+OL)		NCEPGFS	Tiedtke	Goddard	YSU	cu=Tiedtke
25-R1	WRF	cold start	3DVAR (CV5)		NCEPGFS	KF	Goddard	YSU	Radar, 30 hrs, d03NOcu
26-O6	WRF	cold start	NODA		NCEPGFS	KF	Goddard	YSU	Large d03:301*241
27-R2	WRF	cold start	3DVAR (CV7)	15/3km	NCEPGFS	KF	Goddard	YSU	Radar, 30 hrs, d02NOcu,CV7
28-R3	WRF	cold start	3DVAR (CV5)	15/3km	NCEPGFS	KF	Goddard	YSU	No Radar, 30 hrs, d02NOcu

雷達資料同化技術

雷達資料同化技術合作團隊有

- 交通部中央氣象局
- 美國國家大氣研究中心
- 台灣颱風洪水研究中心



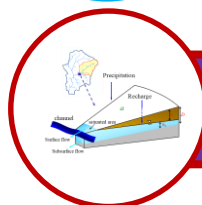
計算時間
1小時

預報時間
7小時

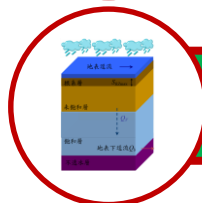
地形性水文模式與淺層崩塌模式



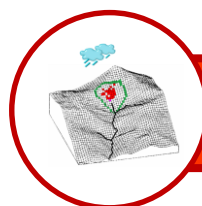
定量降雨預報



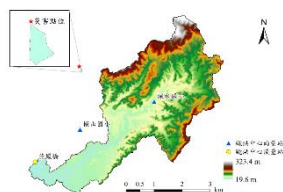
地形性水文模式



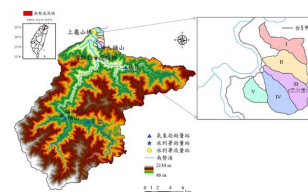
表層土壤飽和水位與土壤厚度推求



物理型淺層崩塌警戒模式



燕巢東燕里示範集水區



烏來忠治里示範集水區

地形性水文模式架構

根系層

$$S_{RZ}(t+1) = S_{RZ}(t) + P(t+1) \cdot \Delta t - ET(t) \cdot \Delta t$$

未飽和含水層

$$f_j(t) = \alpha K_0 \exp\left(-\frac{z_j(t)}{m}\right)$$

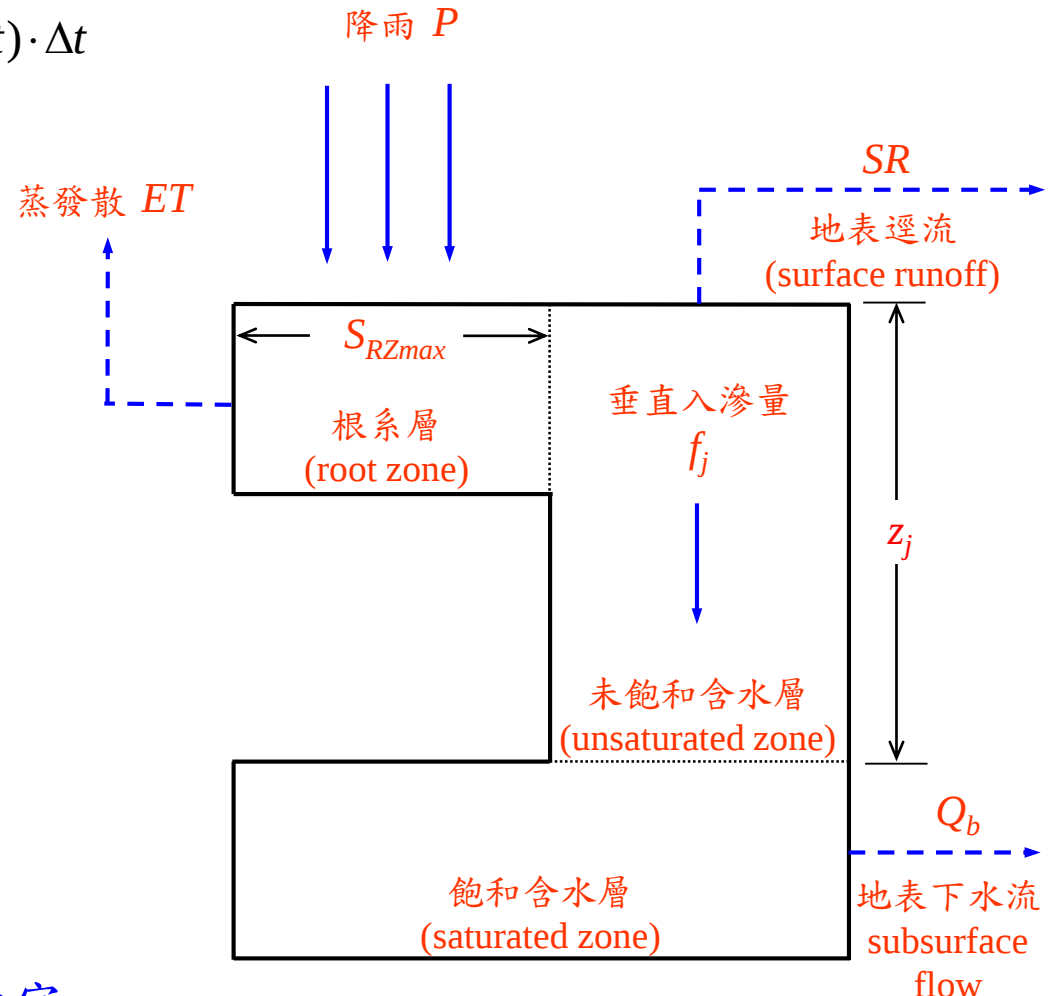
$$Q_v(t) = \frac{1}{A} \sum_j f_j(t) A_j$$

飽和含水層

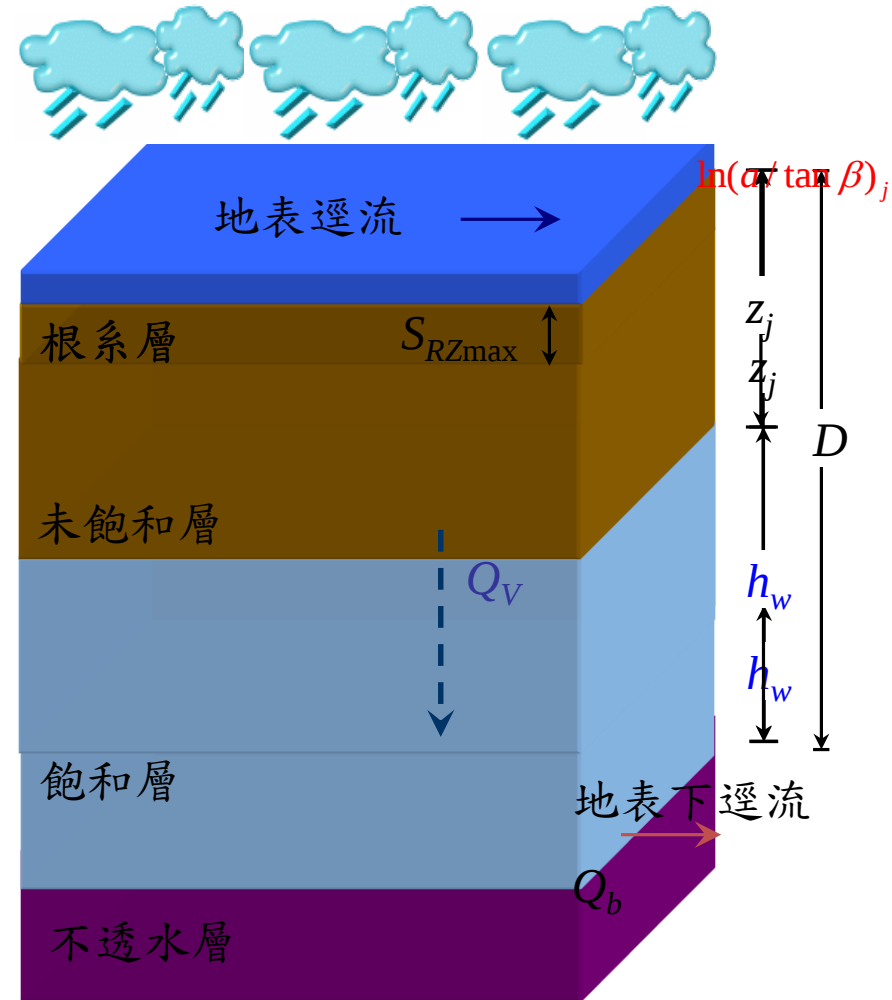
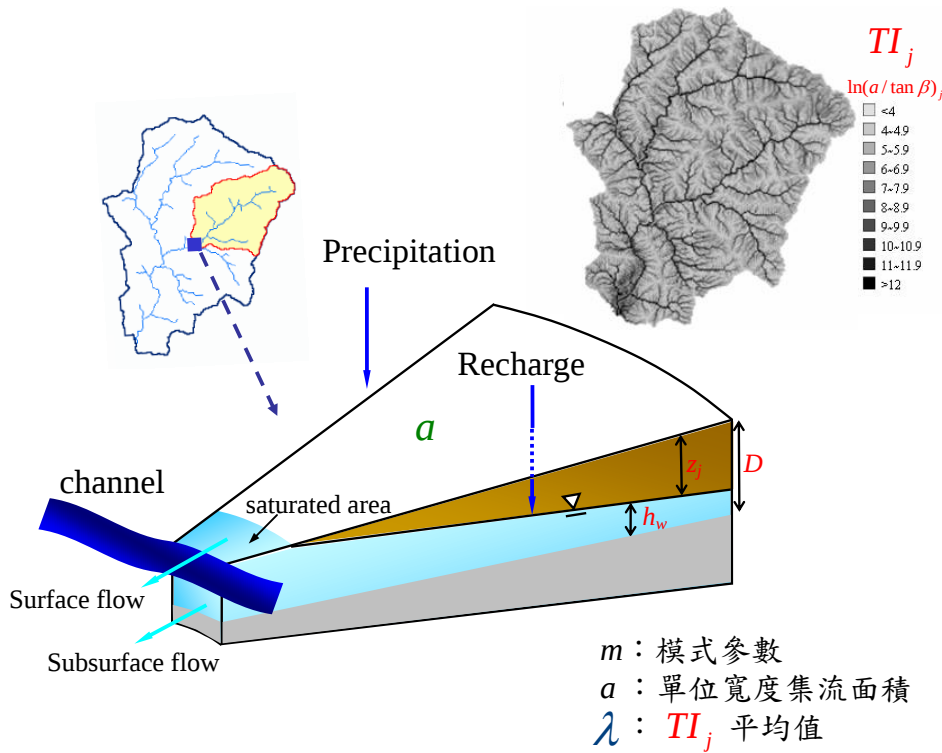
$$\bar{z}(t+1) = \bar{z}(t) + Q_b(t) \cdot \Delta t - Q_v(t) \cdot \Delta t$$

$$Q_b(t) = Q_0 \exp\left(-\frac{\bar{z}(t)}{m}\right)$$

m, K_0, S_{RZmax} 可利用水文資料檢定



地形性水文模式架構



Modified TOPMODEL (Lee and Ho, 2009)

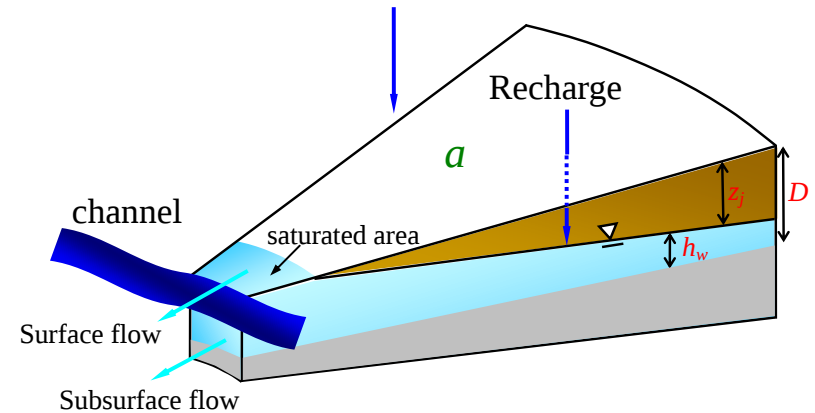
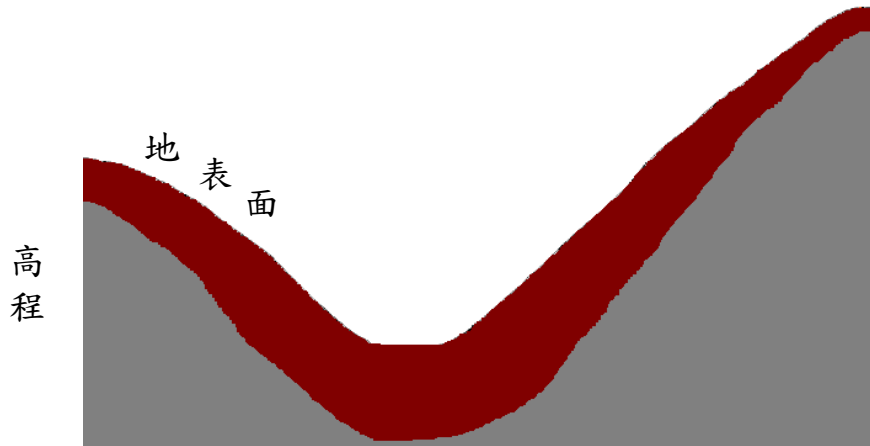
$$\bar{z}(t+1) = \bar{z}(t) + Q_b(t) \cdot \Delta t - Q_v(t) \cdot \Delta t$$

$$z_j = \bar{z} + m \left[\lambda - TI_j \right]$$

$$TI_j = \ln(a / \tan \beta)_j$$

應用集水區地形性水文模式進行飽和水位與逕流推求

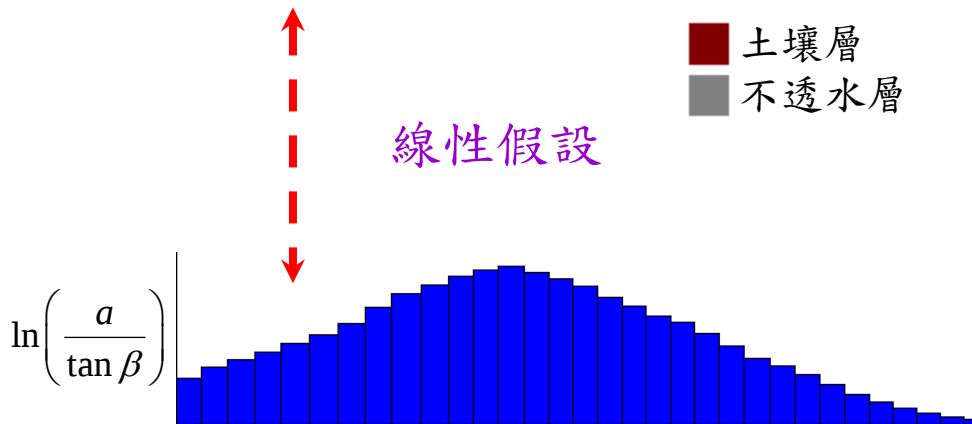
土壤厚度分析



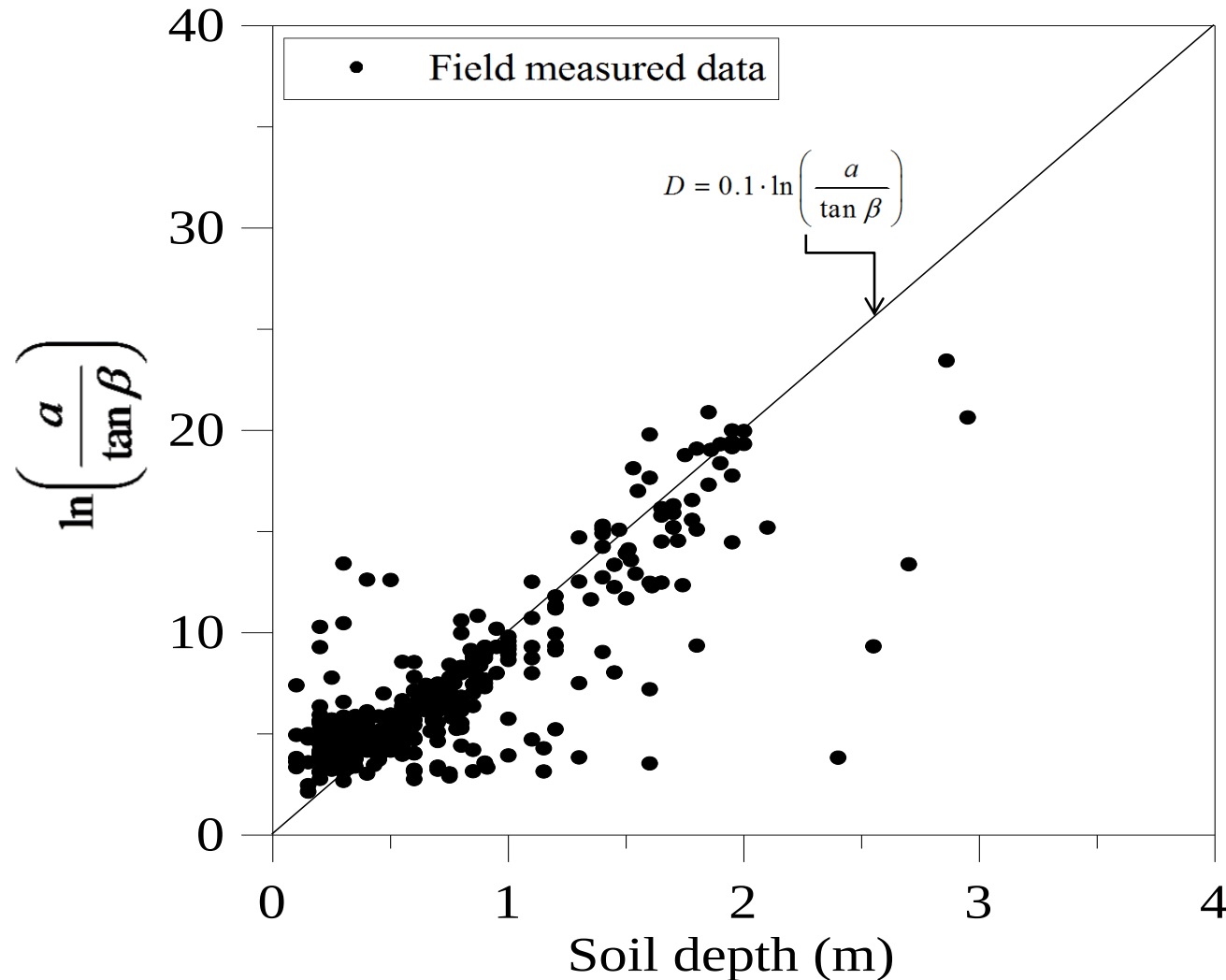
因地形指數值與土壤厚度有一致之關係，故研究中假設集水區地形指數與土壤深度呈線性關係，其關係如下式所示

$$D_j = C_s \cdot \ln \left(\frac{a}{\tan \beta} \right)$$

D_j 為 j 格點之風化土壤厚度， C_s 為待定係數。

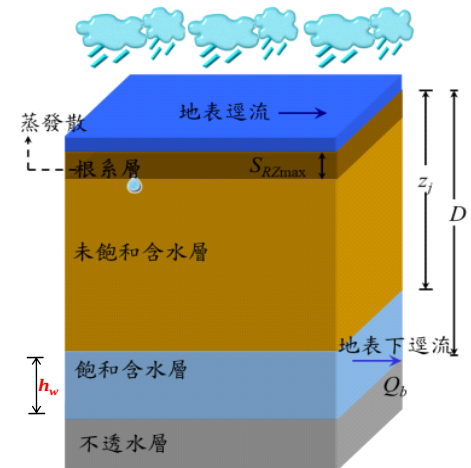
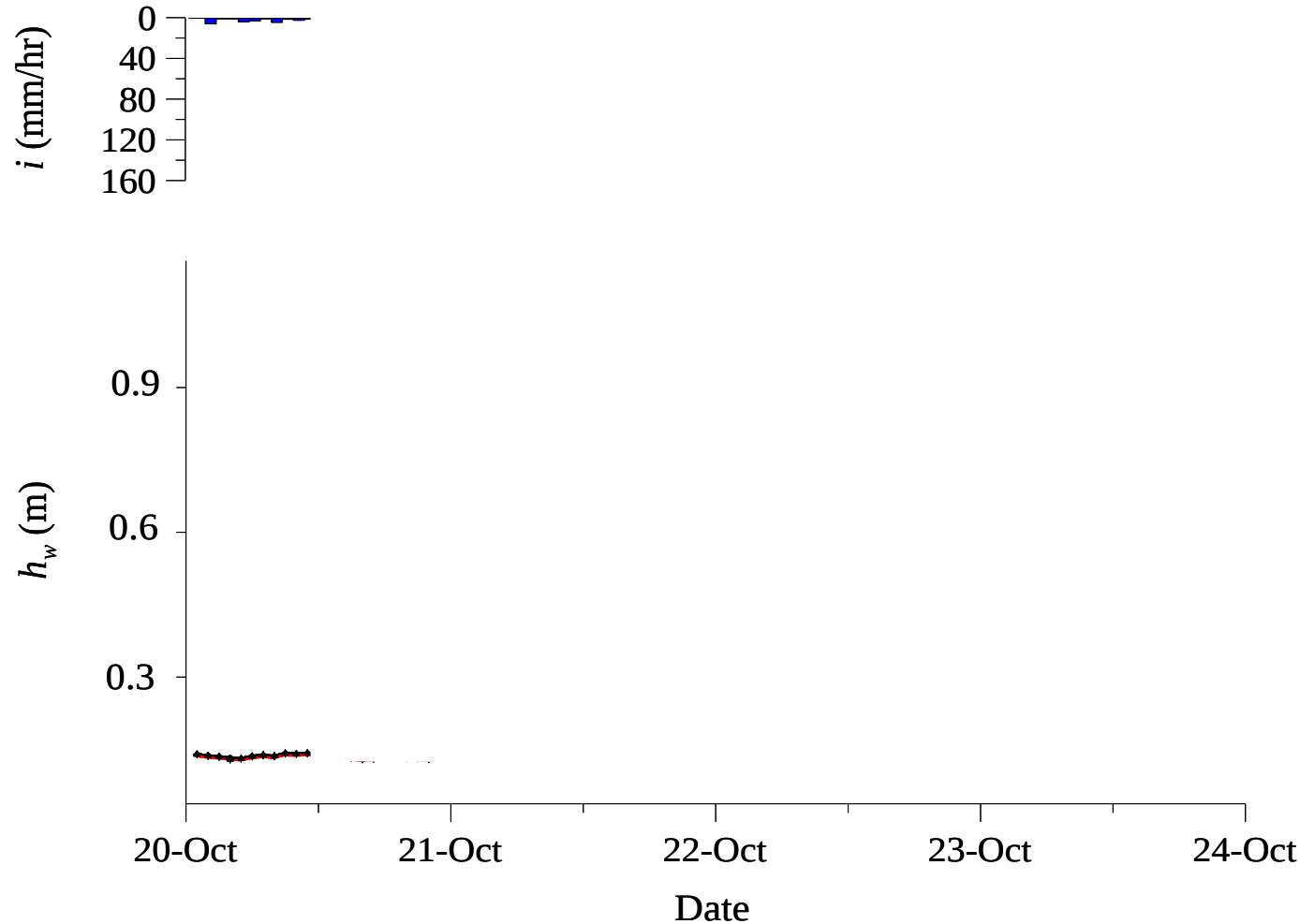


土壤厚度採樣驗證析



台灣地區403個土壤厚度採樣 (資料來源:中興顧問社)

表層土壤飽和水位變化分析



水文模式

坡面穩定分析

$$\text{安全係數 } FS = \frac{\text{阻滯力}}{\text{驅動力}} = \frac{C + (\rho_s D - \rho_w h_w) g \cos^2 \beta \tan \phi}{\rho_s g D \sin \beta \cos \beta}$$

$FS > 1$ 安全

$FS < 1$ 危險

C : 有效凝聚力 [N/m^2]

ϕ : 內摩擦角

β : 坡角

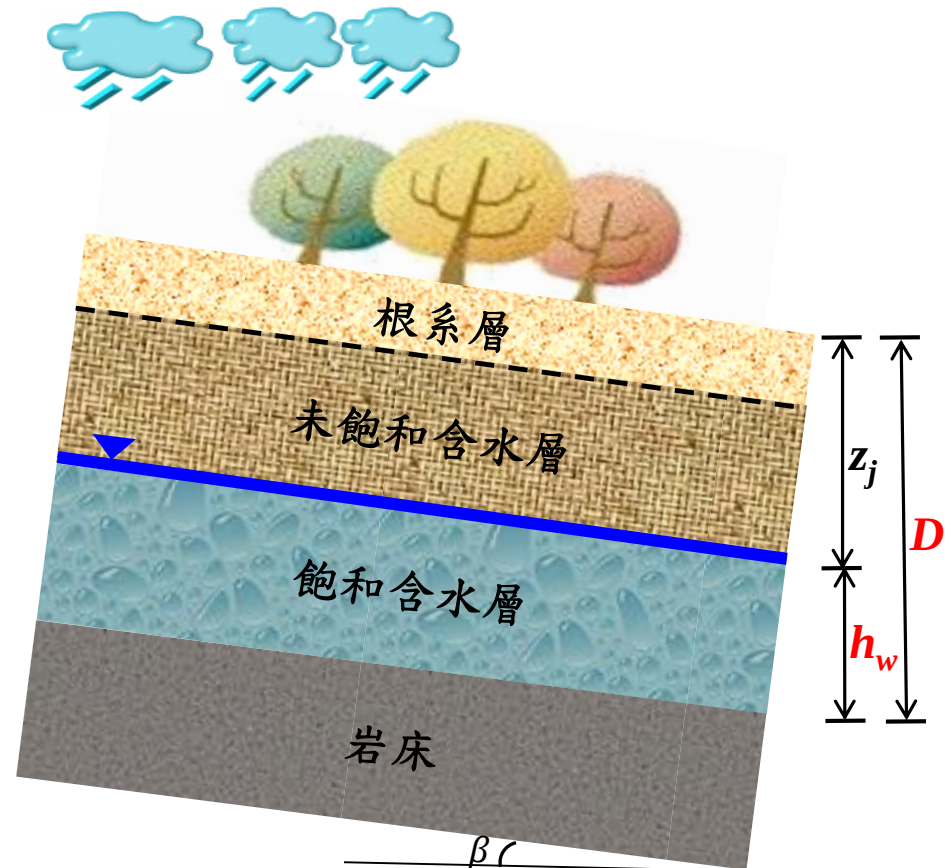
ρ_w : 水體密度 [kg/m^3]

ρ_s : 土壤密度 [kg/m^3]

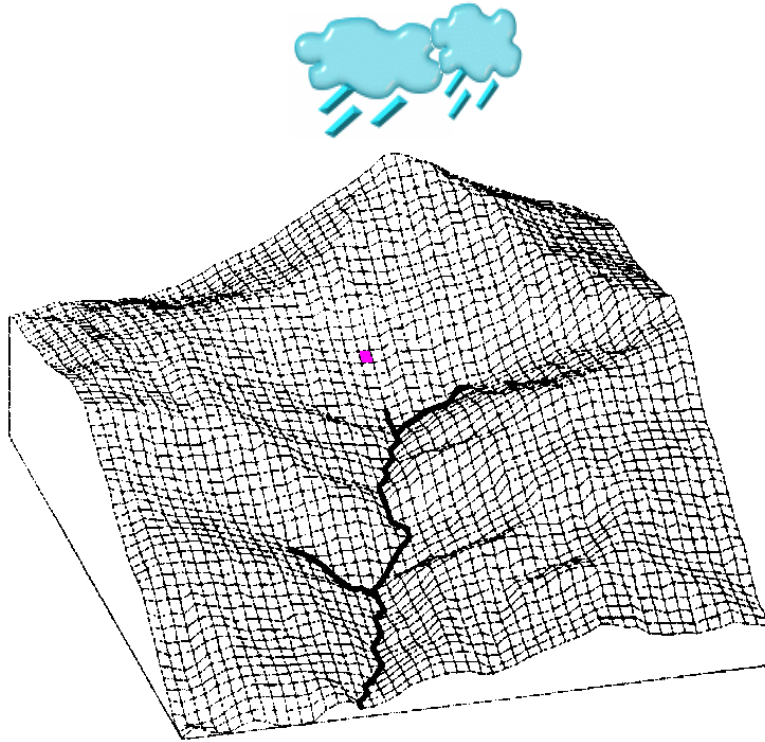
g : 重力加速度 ($=9.81 \text{ m/s}^2$)

D : 土壤厚度 [m]

h_w : 飽和水位深度 [m]

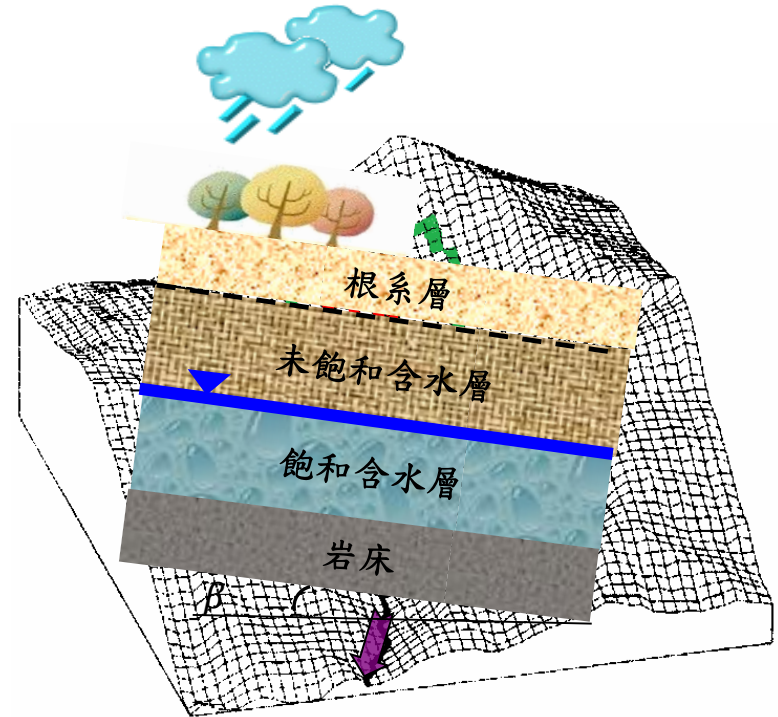


坡面穩定分析



傳統單一格點無限邊坡穩定性分析

$$FS = \frac{C + (\rho_s D - \rho_w h_w) g \cos^2 \beta \tan \phi}{\rho_s g D \sin \beta \cos \beta}$$



次集水區無限邊坡穩定性分析

$$\overline{FS} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{C_i + (\rho_s D_i - \rho_w h_{w_i}) g \cos^2 \beta_i \tan \phi}{\rho_s g D_i \sin \beta_i \cos \beta_i} \right] / n$$

* Ho, J. Y., & Lee, K. T. (2017). Performance evaluation of a physically based model for shallow landslide prediction. *Landslides*, 14(3), 961-980.

105年梅姬颱風-燕巢東燕里示範水區

災害發生時間

105/09/28，梅姬颱風

災害發生位置

高雄市燕巢區東燕里中民61巷底的民宅

災害規模

崩塌範圍長度約145公尺，寬約30公尺，深度約2公尺，崩塌土方量約8,700立方公尺



1. 該集水區崩塌乃由強降雨所誘發。
2. 位於鄰近區域有設立颱洪中心所屬之雨量站與雷達觀測站，可提供現地降雨資料。



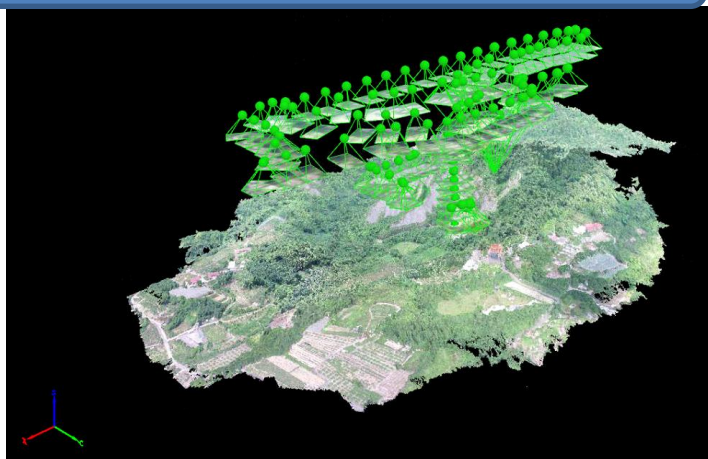
C-Pol雷達站外觀



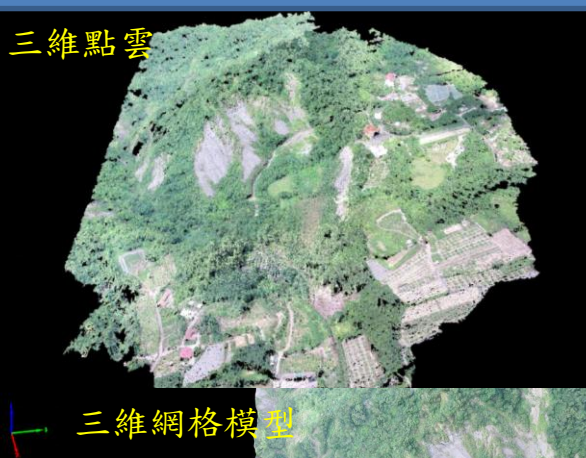
The image shows the exterior of the C-Pol radar station. A large white hemispherical radar dome is mounted on a tall, lattice-structured metal tower. At the base of the tower are two white shipping containers. The container on the left has 'TANAKA' written on it, and the one on the right has 'KAWASUMI' written on it. A person in a light blue shirt and dark pants is standing near the base of the tower. Two cars are parked in the foreground: a silver car on the left and a dark car on the right. The background shows a clear blue sky and some distant hills.

東燕里示範集水區空拍建模

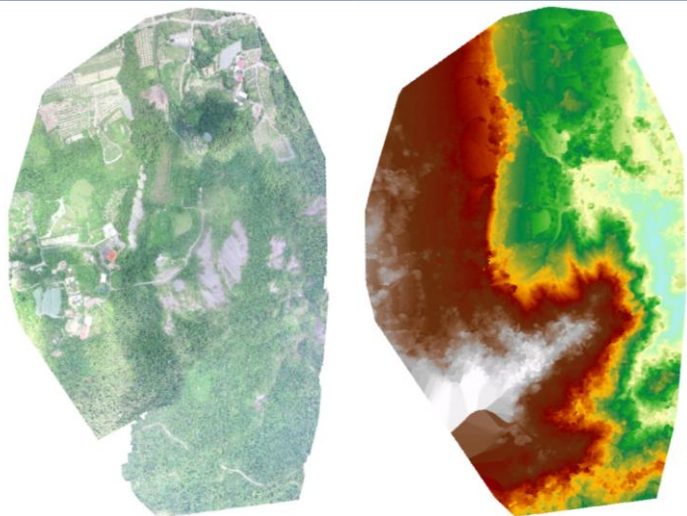
影像解算、重疊影像拼接



建構三維模型



產製高精度高程資料及正射影像



模型成果用於崩塌區域判釋、多時期影像比較，以及高程資料作為模式之輸入資料

104年蘇迪勒颱風-烏來忠治里示範集水區

災害發生時間

104/08/10，蘇迪勒颱風

災害發生位置

新北市烏來區忠治里(台9甲線)

利用UAV與Pix4D Mapper軟體建置
忠治里地區數值地形模型



烏來忠治里示範集水區無人機空拍建模



蘇迪勒

2015.08.08

2015.09.05



杜鵑

2015.09.28

2015.10.01

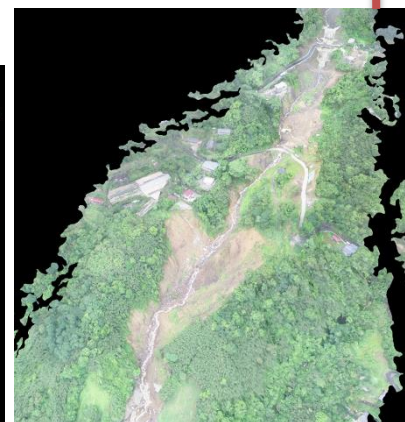


梅姬

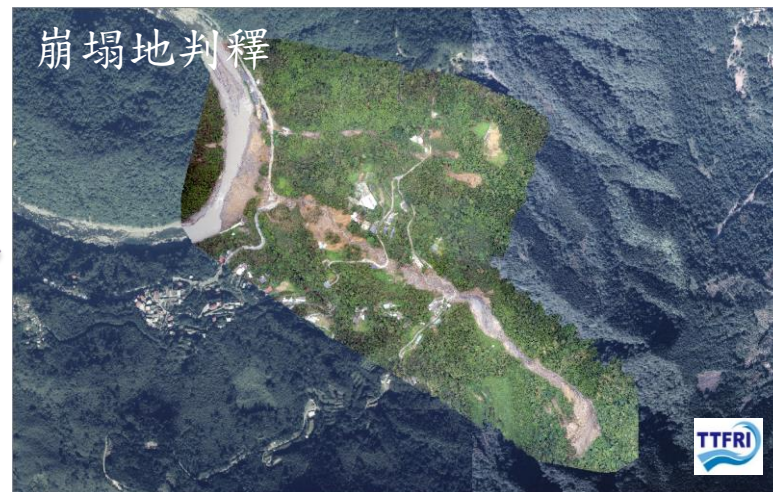
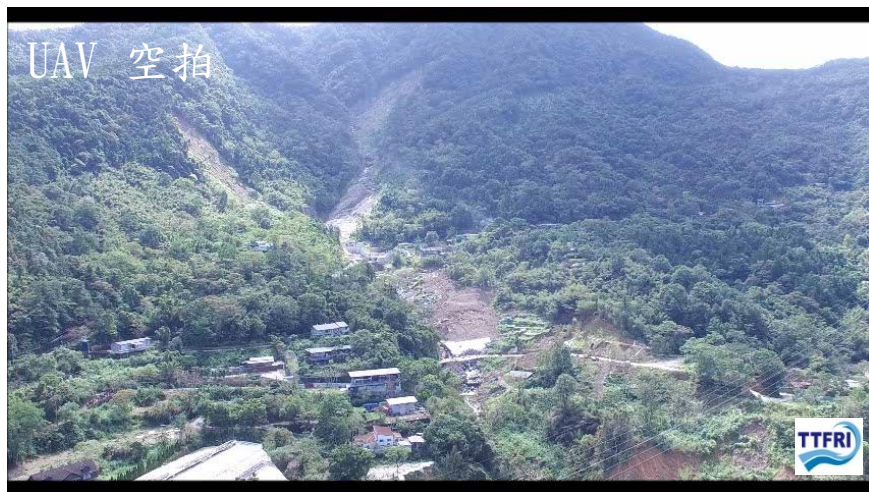
2016.09.27

2016.10.01

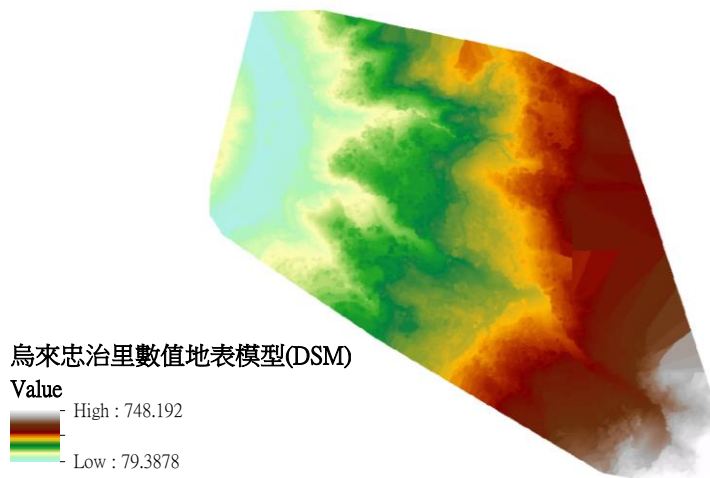
2016.08.11



無人機空拍技術及數值高程模式

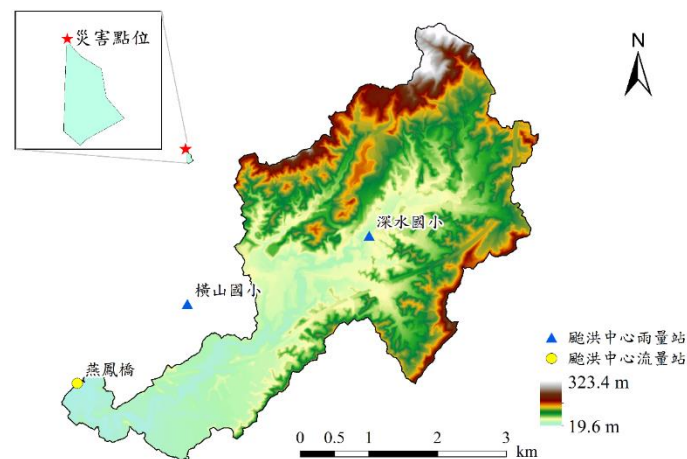


建置高精度數值高程資料



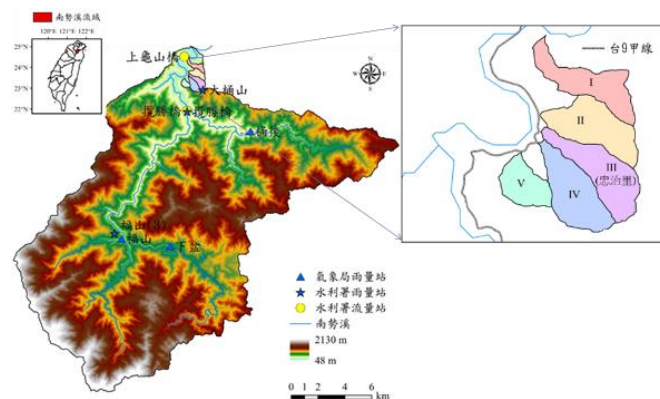
示範集水區資料列表

燕巢東燕里示範集水區



分類	來源	種類	說明
水文	中央氣象局	時雨量觀測資料	烏來：4站、燕巢：4站之歷年觀測資料
	經濟部水利署	時雨量觀測資料	烏來：5站、燕巢：3站之歷年觀測資料
	經濟部水利署	時流量觀測資料	上龜山橋與攬勝橋之歷年觀測資料
	台灣颱風洪水研究中心	時雨量觀測資料	燕巢：2站之歷年觀測資料
	台灣颱風洪水研究中心	時流量觀測資料	燕鳳橋之歷年觀測資料
	台灣颱風洪水研究中心	定量降雨系集預報資料	烏來、燕巢地區之歷年預報資料
	台灣颱風洪水研究中心	雷達觀測定量降雨資料	燕巢地區之事件觀測資料
地文	農委會林務局農林航空測量所	數值高程資料	解析度：40 公尺
	美國國家航空暨太空總署	數值高程資料	解析度：30 公尺
	內政部地政司衛星測量中心	數值高程資料	解析度：5 公尺
	UAV 空拍影像與建模	數值高程資料	解析度：1 公尺
	內政部國土測繪中心	土地利用	民國84年與95年
地質	中央地調所	地質圖	5萬分之1
	中央地調所	地質災害潛勢圖	含順向坡、岩體滑動等
災害紀錄	行政院水土保持局	土石流潛勢溪流位置	民國106年
	行政院水土保持局	重大土石流災情報告	民國96至105年
	交通部公路總局	道路邊坡崩塌紀錄	民國95至105年
衛星影像	中央大學太空遙測中心	SPOT影像	民國99至105年
警戒參考	交通部公路總局	重點監控路段警戒值	監控路段警戒、預警、行動值
	行政院水土保持局	土石流潛勢溪流	106年土石流警戒基準值

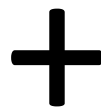
烏來忠治里示範集水區



淺層崩塌預警模式分析驗證

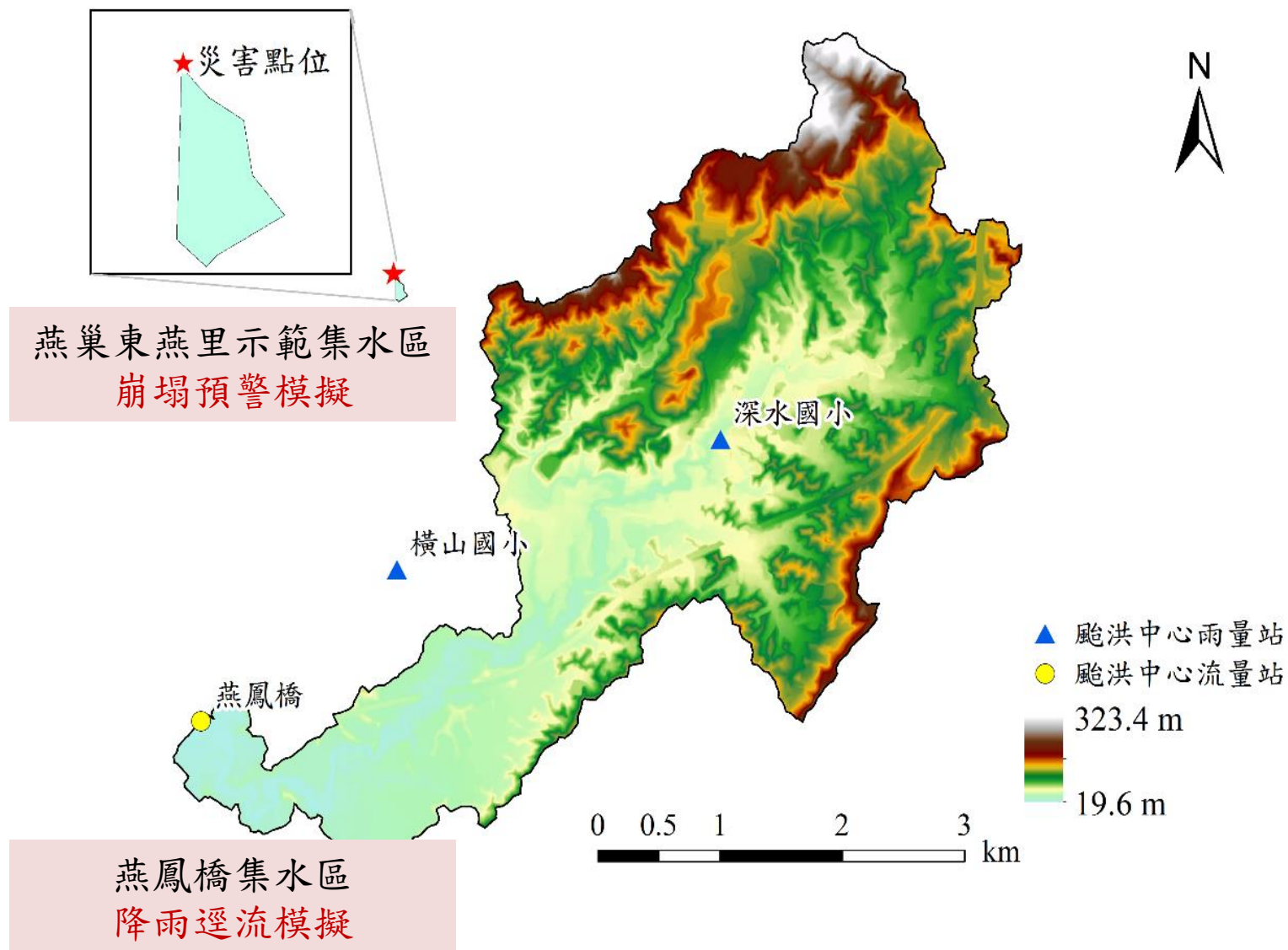


歷史觀測
雨量



淺層崩塌
預警模式

高雄燕巢區東燕里示範集水區



燕鳳橋集水區之水文與地文因子

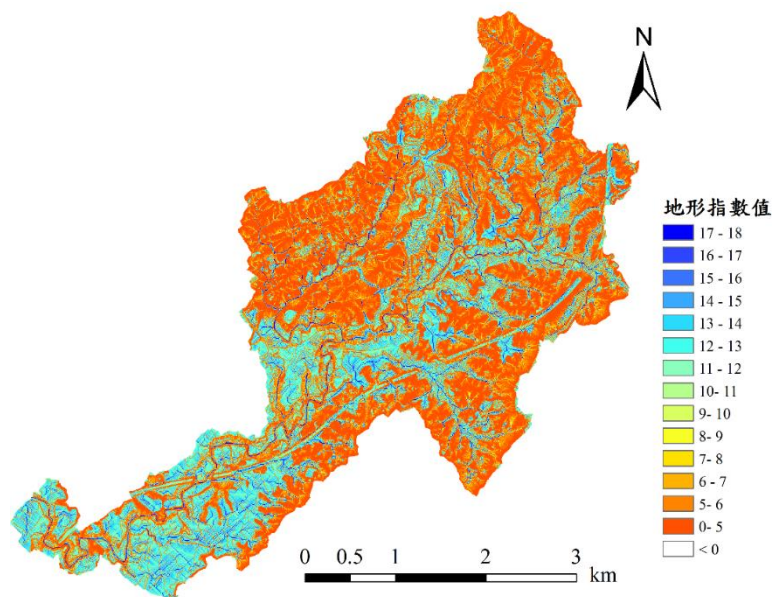
地文因子

集水區 下游控制點	級序	河川 數目	集水區 平均面積	河川 平均長度	漫地流 平均坡度	渠流 平均坡度
	i	N_i	$\bar{A}_i \text{ (km}^2\text{)}$	$\bar{L}_{c_i} \text{ (km)}$	$\bar{S}_{0_i} \text{ (m/m)}$	$\bar{S}_{c_i} \text{ (m/m)}$
燕鳳橋	1	8	1.27	1.46	0.3218	0.0173
	2	2	5.17	2.34	0.2406	0.0062
	3	1	16.68	7.84	0.1483	0.0019

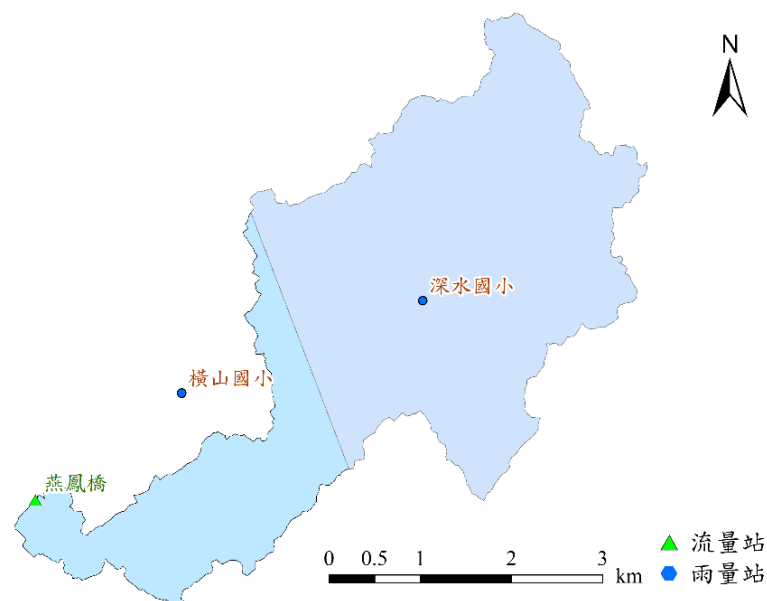
徐昇氏多邊形權重

站名	站號	所屬單位	紀錄年限	雨量站權重
橫山國小	HSGX	颱洪中心	103/07/30~迄今	0.26
深水國小	SSGX	颱洪中心	105/07/14~迄今	0.74

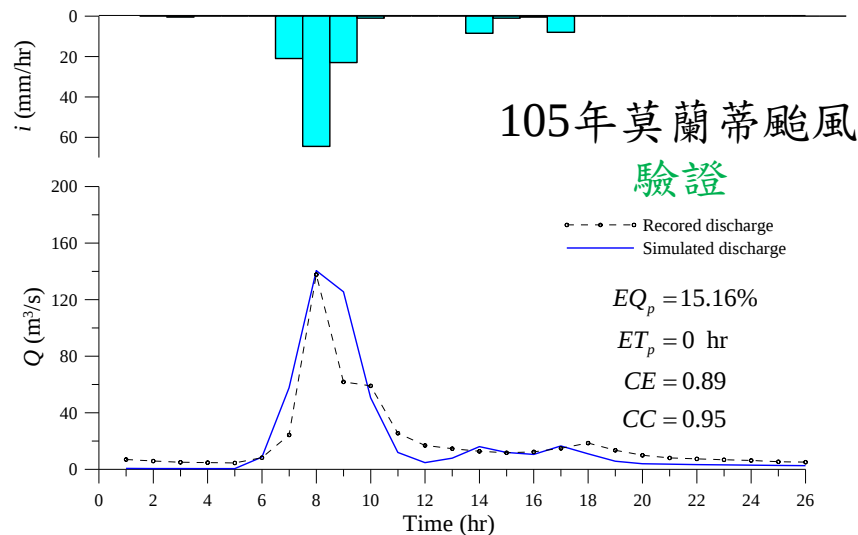
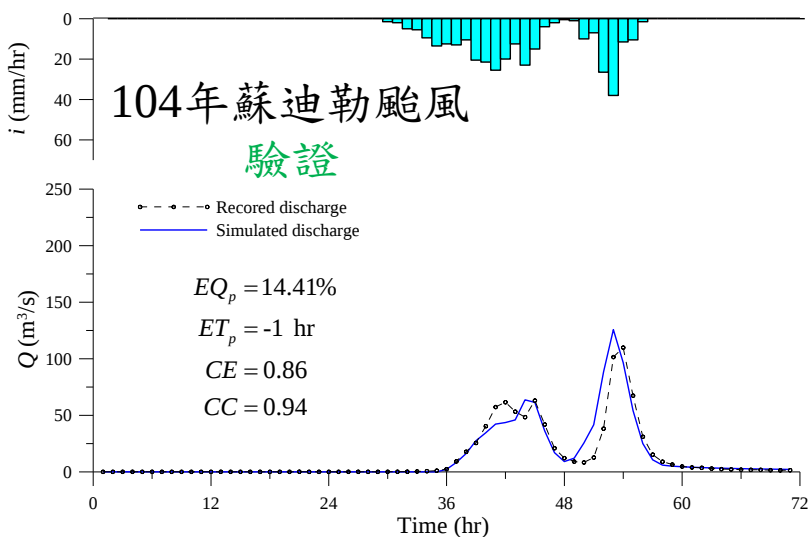
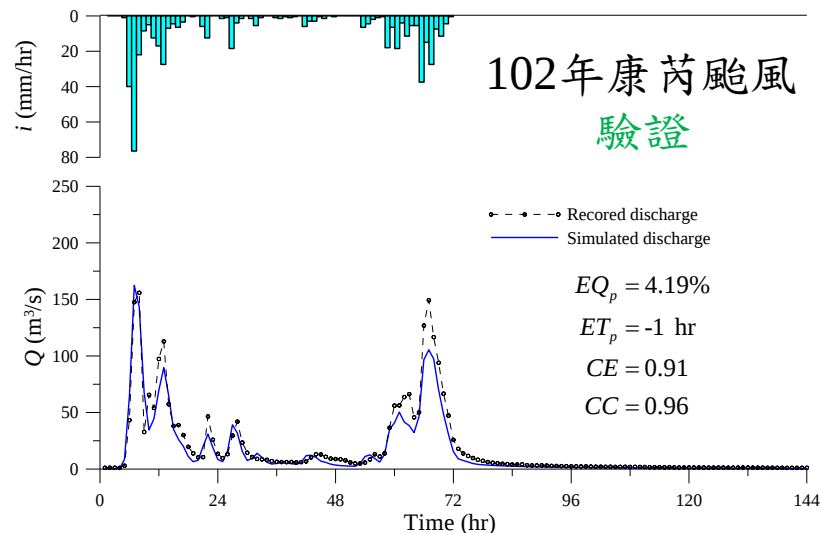
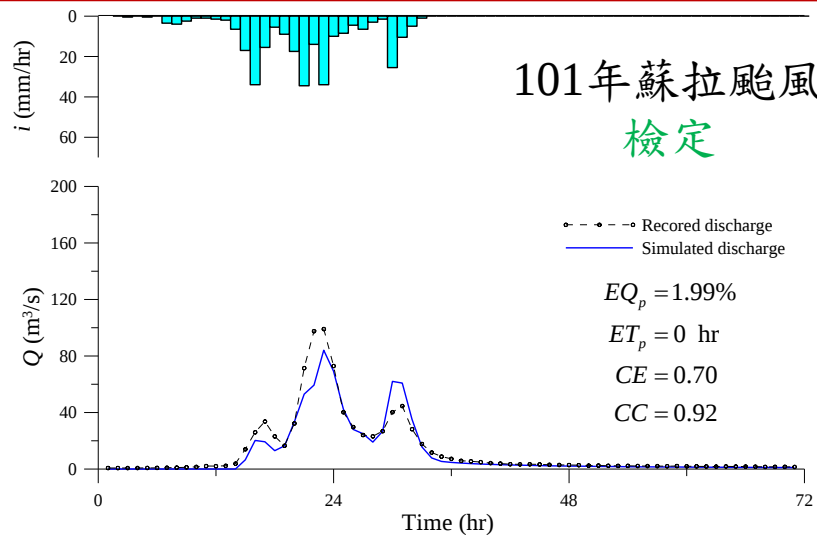
地形指數值之空間分佈



徐昇多邊形控制面積



地形性水文模式檢定與驗證



水文模式參數： $m = 0.06 \text{ m}$, $K_0 = 5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$, $S_{RZ \max} = 0.02 \text{ m}$

燕巢東燕里示範集水區逕流模擬結果

集水區	降雨事件	洪峰流量誤差	洪峰流量到達時刻誤差	效率係數	相關係數
		EQ_p (%)	ET_p (hr)	CE	CC
燕鳳橋	101年蘇拉颱風	1.99	0	0.70	0.92
	102年康芮颱風	4.19	-1	0.91	0.96
	104年蘇迪勒颱風	14.41	-1	0.86	0.94
	105年莫蘭蒂颱風	15.16	0	0.89	0.95

$$EQ_p(\%) = \frac{|Q_{p,s} - Q_{p,r}|}{Q_{p,r}} \times 100\%$$

$$ET_p = T_s - T_r$$

$$CE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_r(t) - Q_s(t))^2}{\sum_{t=1}^n (Q_r(t) - \bar{Q}_r)^2}$$

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (Q_r - \bar{Q}_r)(Q_s - \bar{Q}_s)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_r - \bar{Q}_r)^2 \cdot \sum_{t=1}^n (Q_s - \bar{Q}_s)^2}}$$

$Q_{p,s}$: 模式推估之洪峰流量

$Q_{p,r}$: 觀測之洪峰流量

T_s : 模式推估之洪峰到達時刻

T_r : 觀測之洪峰到達時刻

Q_s : 模式推估之流量

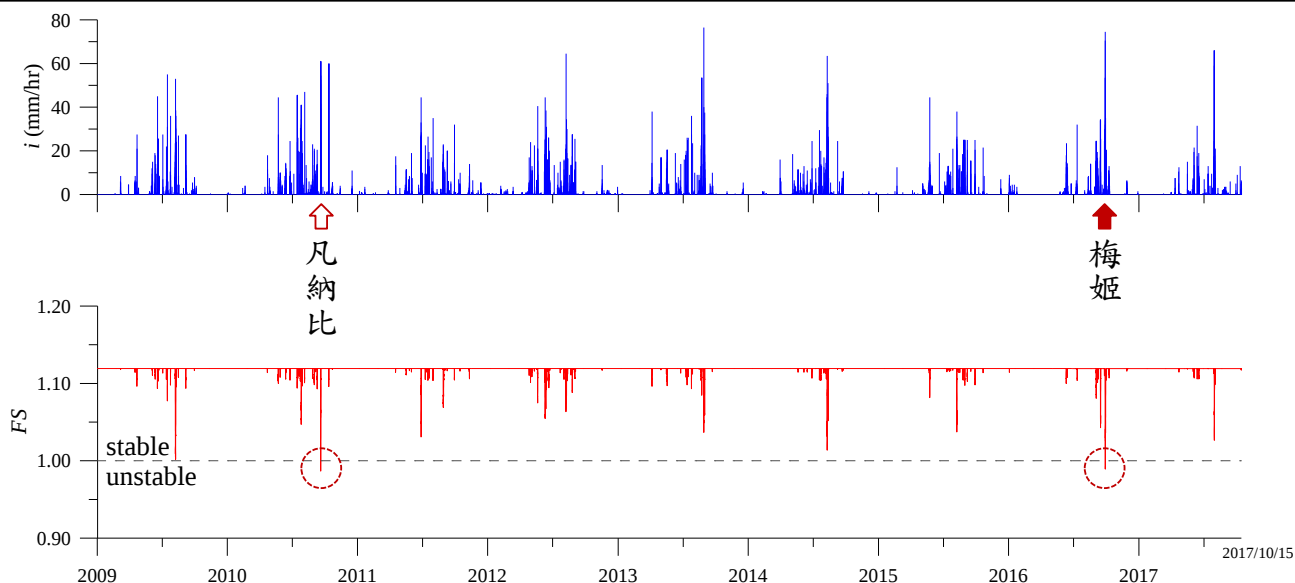
Q_r : 觀測之流量

$\bar{Q}_r$: 觀測流量之平均值

燕巢東燕里淺層崩塌預警模式分析驗證

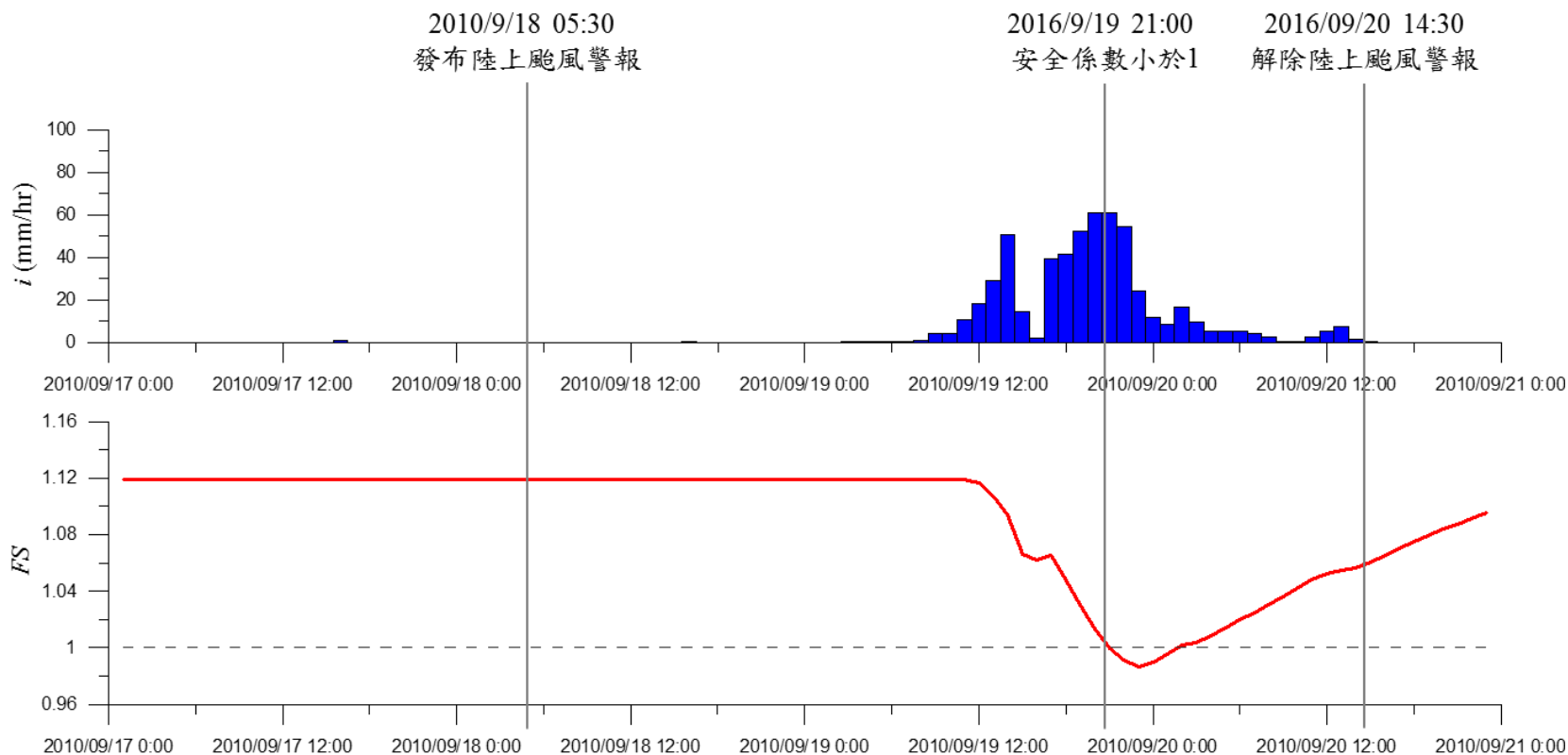
2009/01至2017/10/15

編號	時間	降雨事件	累積雨量 (mm)					崩塌 與否	本研究 FS
			1-h	3-h	6-h	12-h	24-h		
1	2009/08/08	Typhoon Morakot	53.0	85.5	138.0	250.0	343.0		1.002
2	2010/07/27	Rainstorm	41.0	45.0	52.0	96.0	96.0		1.047
3	2010/09/19	Typhoon Fanapi	61.0	174.5	257.5	384.5	392.0		0.987
4	2011/06/28	Rainstorm	44.5	77.0	85.5	163.0	176.5		1.031
5	2012/06/10	Rainstorm	44.5	45.0	73.0	98.0	148.5		1.054
6	2013/08/29	Rainstorm	76.5	117.5	117.5	122.0	125.5		1.037
7	2014/08/10	Rainstorm	63.5	69.5	121.0	267.5	278.0		1.014
8	2015/08/09	Typhoon Soudelor	38.0	71.5	83.0	159.5	300.0		1.037
9	2016/09/15	Typhoon Malakas	34.5	61.0	116.0	145.0	156.0		1.043
10	2016/09/28	Typhoon Megi	74.5	123.5	184.5	349.5	372.0	✓	0.989



燕巢東燕里示範集水區-凡那比颱風

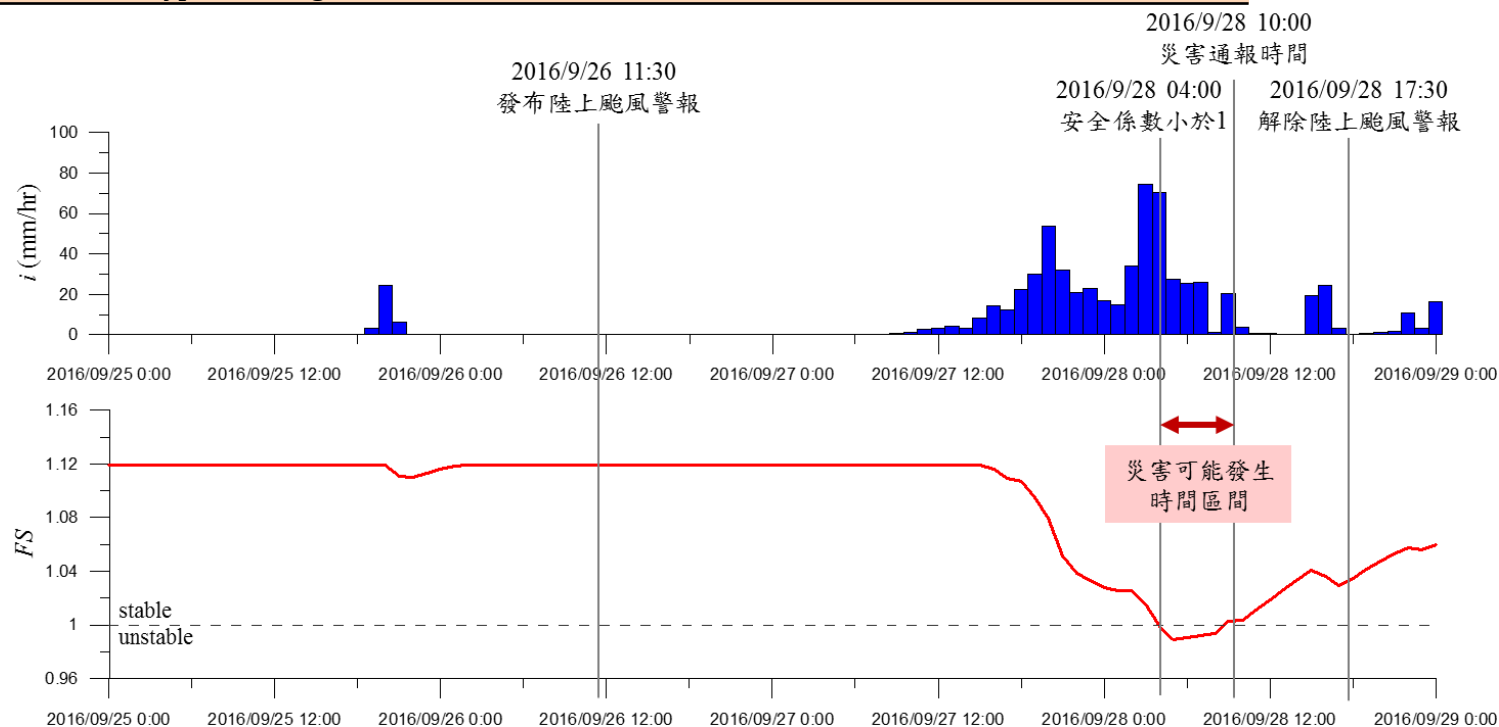
時間	降雨事件	累積雨量 (mm)					崩塌 與否	本研究 $\overline{FS}$
		1-h	3-h	6-h	12-h	24-h		
2010/9/19	Typhoon Fanapi	61.0	174.5	257.5	384.5	392.0		0.987



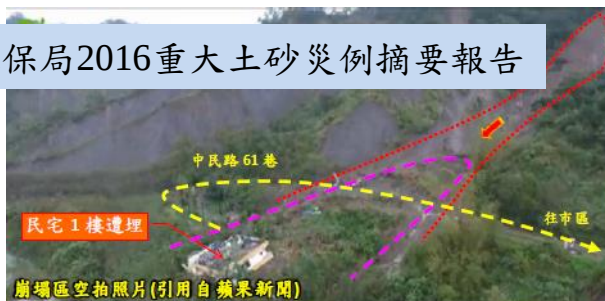
False alarm

燕巢東燕里示範集水區-梅姬颱風

時間	降雨事件	累積雨量 (mm)					崩塌 與否	本研究 $\overline{FS}$
		1-h	3-h	6-h	12-h	24-h		
2016/9/28	Typhoon Megi	74.5	123.5	184.5	349.5	372.0	✓	0.989



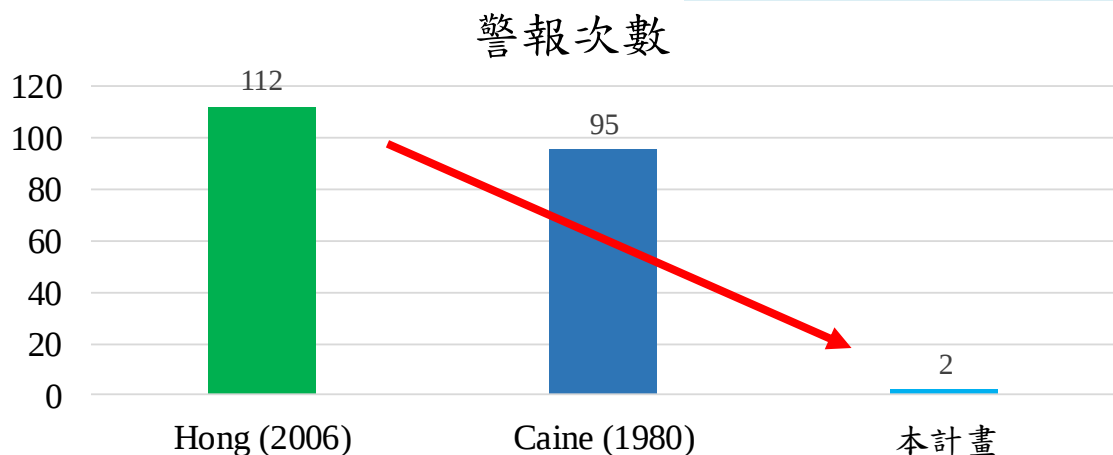
水保局2016重大土砂災例摘要報告



Hit

燕巢東燕里示範集水區-長時間系統性評估

實際發生崩塌事件：1次（梅姬颱風）



預報 \ 實際	崩塌	未崩塌
崩塌	命中發生 Hits	失誤 Misses
未崩塌	假警報 False alarms	命中未發生 No events

可偵測率 (Probability of detection, POD)

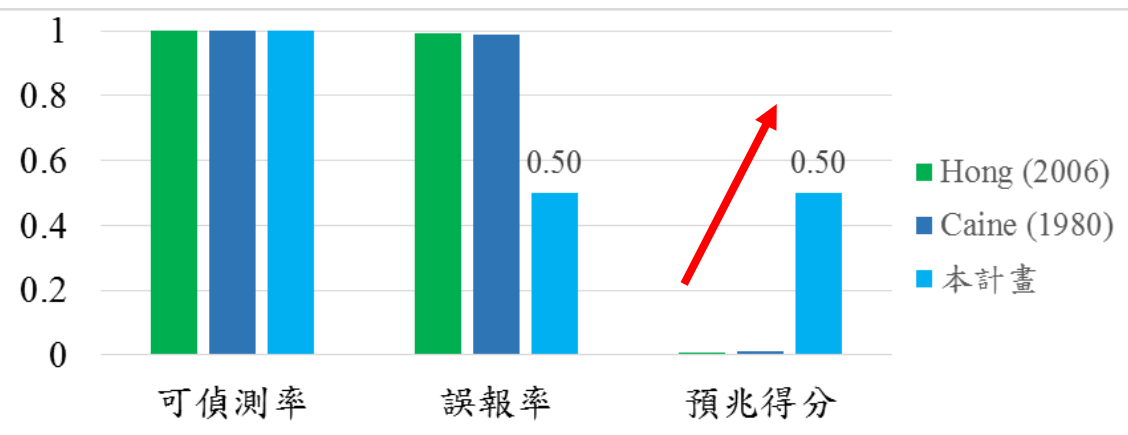
$$POD = \frac{\text{Hits}}{\text{Hits} + \text{Misses}}$$

誤報率 (False alarm ratio, FAR)

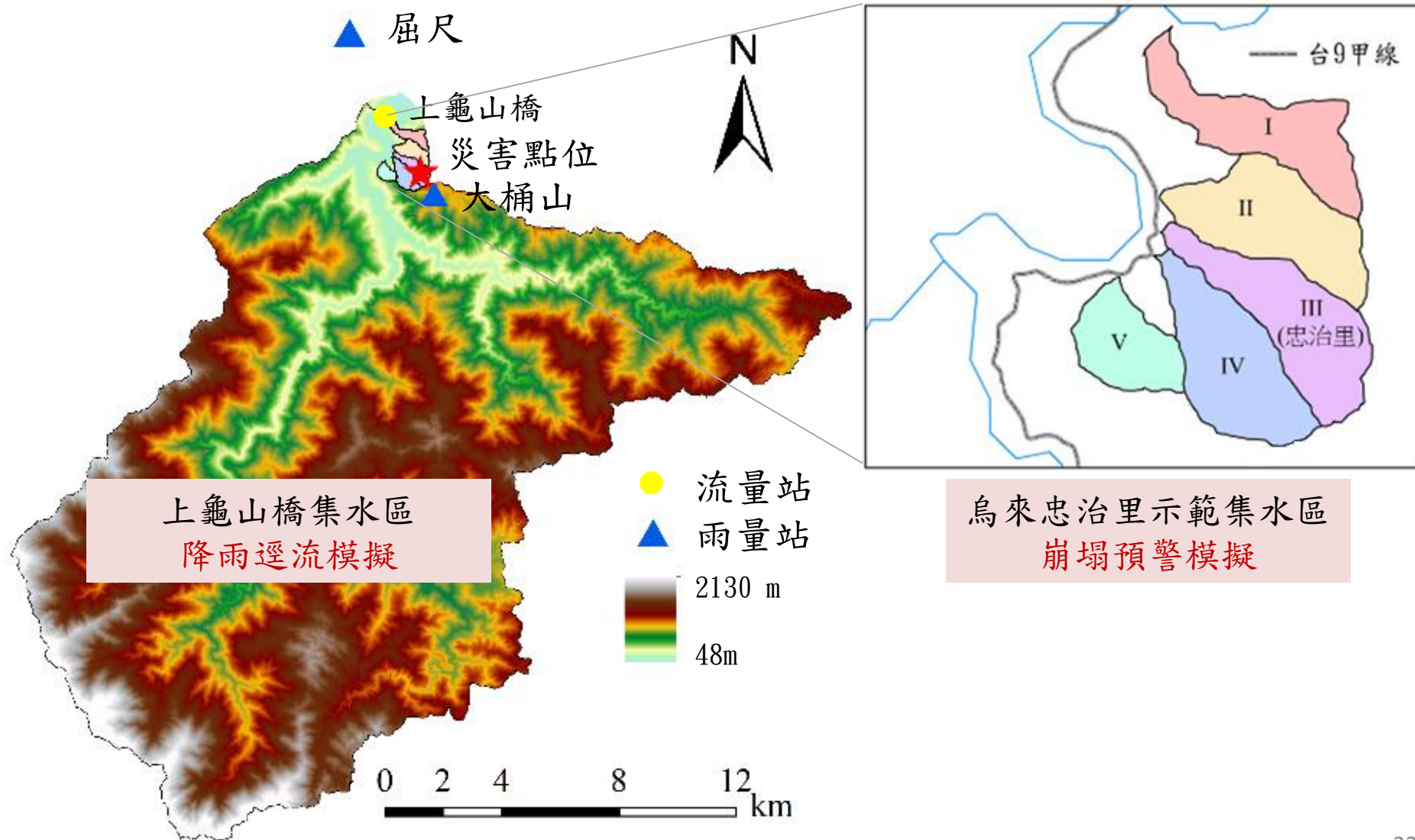
$$FAR = \frac{\text{False alarms}}{\text{Hits} + \text{False alarms}}$$

預兆得分 (Threat score, TS)

$$TS = \frac{\text{Hits}}{\text{Hits} + \text{False alarms} + \text{Misses}}$$



新北烏來區忠治里示範集水區



上龜山橋集水區之水文與地文因子

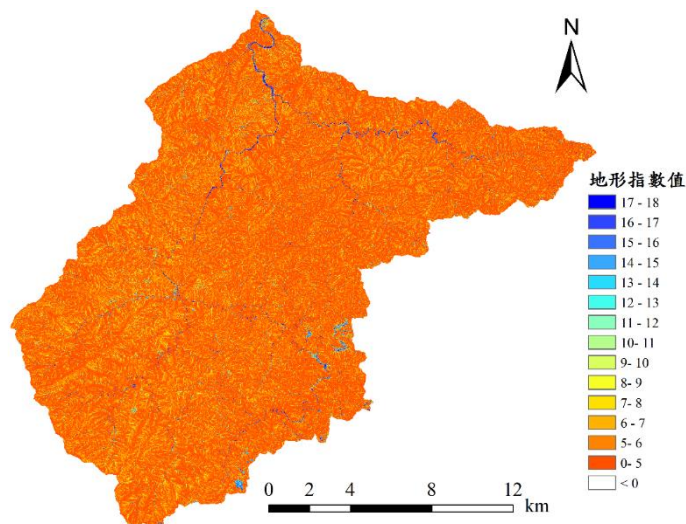
地文因子

集水區 下游控制點	級序 i	河川 數目 N_i	集水區 平均面積 $\bar{A}_i$ (km ²)	河川 平均長度 $\bar{L}_{c_i}$ (km)	漫地流 平均坡度 $\bar{S}_{o_i}$ (m/m)	渠流 平均坡度 $\bar{S}_{c_i}$ (m/m)
上龜山橋	1	680	0.28	0.45	0.6656	0.3456
	2	145	1.29	1.03	0.7154	0.2290
	3	33	6.34	2.72	0.7170	0.0947
	4	9	24.06	4.31	0.6869	0.0415
	5	3	72.48	7.52	0.7268	0.0169
	6	1	334.83	23.82	0.6847	0.0121

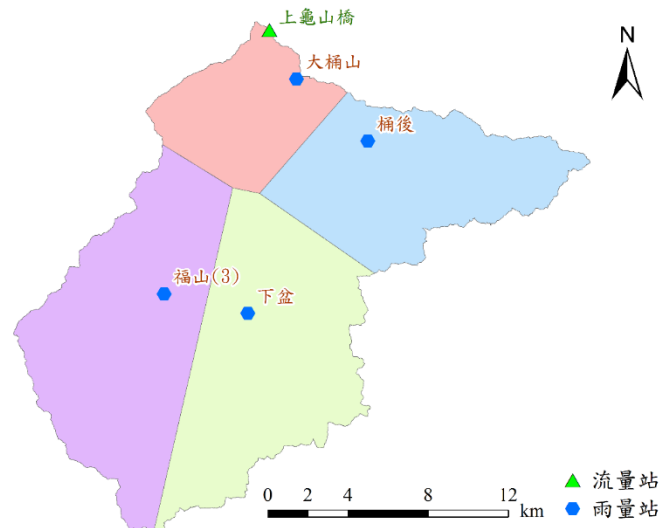
徐昇氏多邊形權重

站名	站號	所屬單位	紀錄年限	雨量站權重
福山(3)	01A430	經濟部水利署	1977/1/1~迄今	0.32
大桶山	01A440	經濟部水利署	1977/1/1~迄今	0.13
桶後	C0A570	中央氣象局	1987/6/1~迄今	0.24
下盆	C1A630	中央氣象局	1987/6/1~迄今	0.31

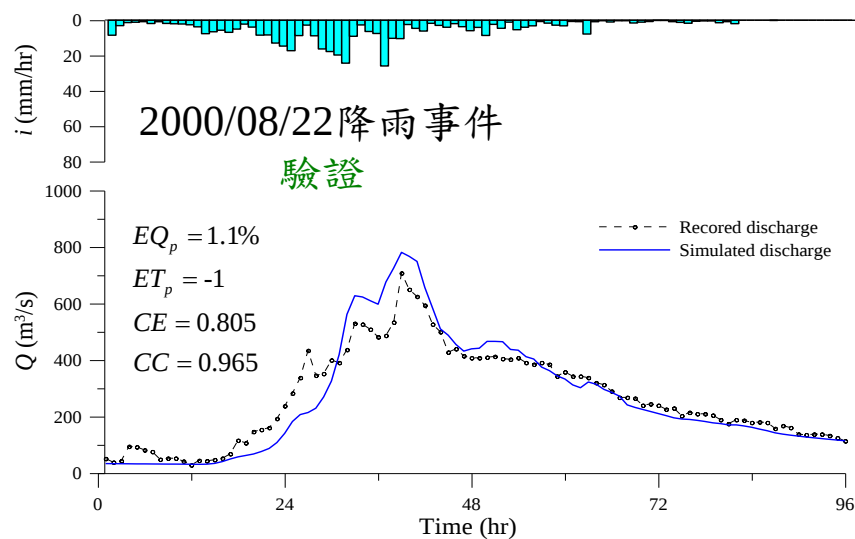
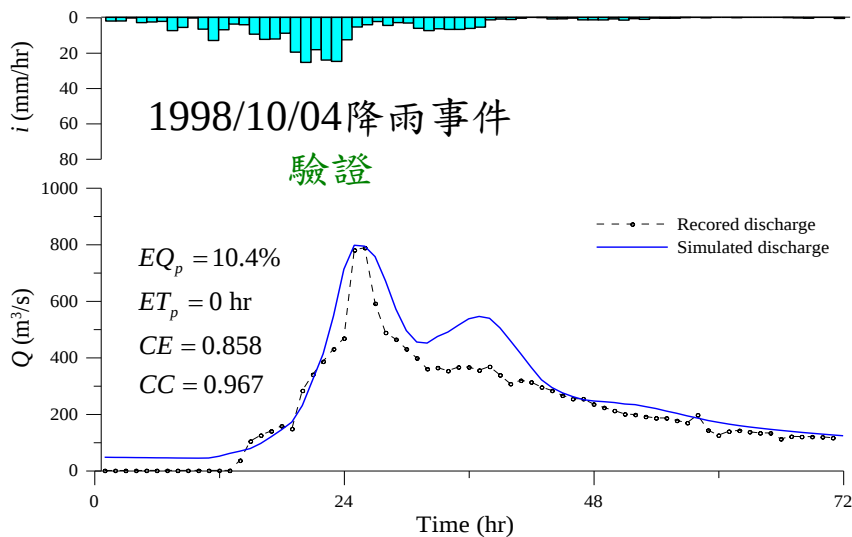
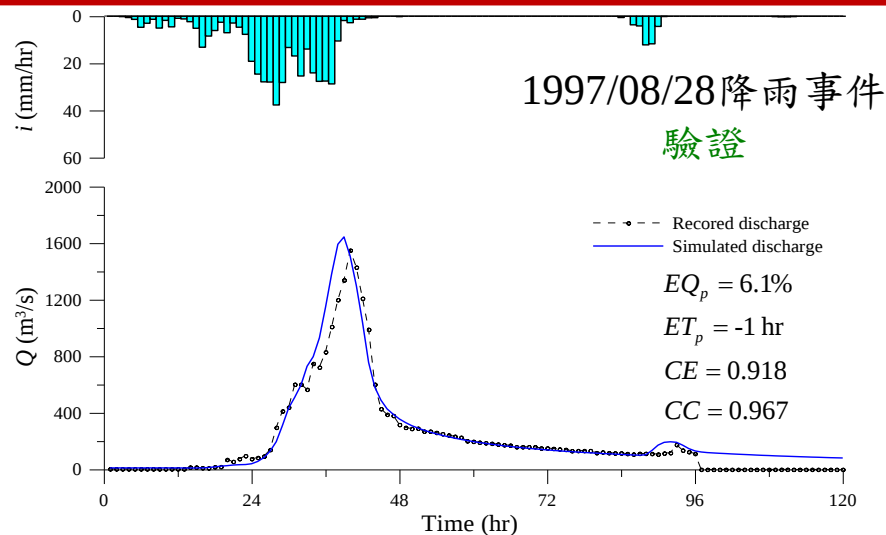
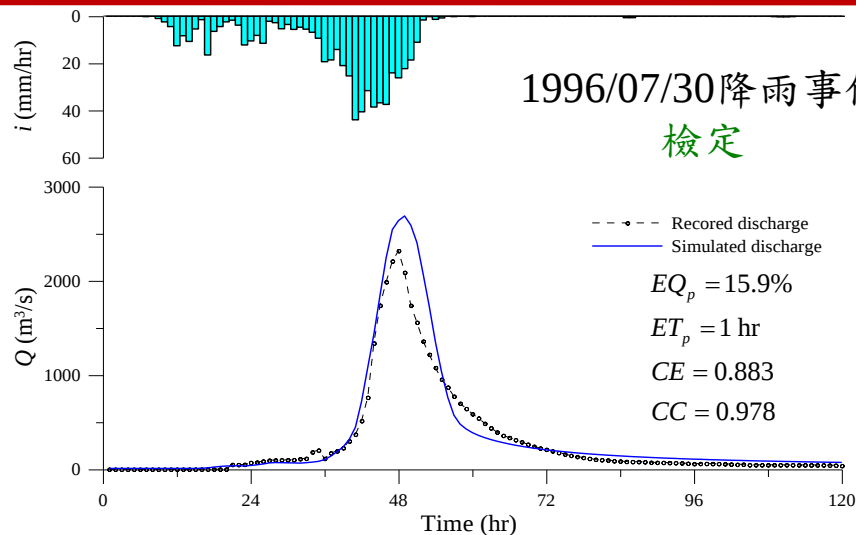
地形指數值之空間分佈



徐昇多邊形控制面積



地形性水文模式檢定與驗證



水文模式參數： $m = 0.06 \text{ m}$, $K_0 = 5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$, $S_{RZ \max} = 0.02 \text{ m}$

烏來忠治里示範集水區逕流模擬結果

集水區 下游控制點	降雨事件	洪峰流量誤差	洪峰流量到達 時刻誤差	效率係數	相關係數
		EQ_p (%)	ET_p (hr)	CE	CC
上龜山橋	85/07/30	15.9	1	0.88	0.98
	86/08/28	6.1	-1	0.92	0.97
	87/10/04	10.4	0	0.86	0.97
	89/08/22	1.1	-1	0.81	0.97

$$EQ_p(\%) = \frac{|Q_{p,s} - Q_{p,r}|}{Q_{p,r}} \times 100\%$$

$$ET_p = T_s - T_r$$

$$CE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_r(t) - Q_s(t))^2}{\sum_{t=1}^n (Q_r(t) - \bar{Q}_r)^2}$$

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (Q_r - \bar{Q}_r)(Q_s - \bar{Q}_s)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_r - \bar{Q}_r)^2 \cdot \sum_{t=1}^n (Q_s - \bar{Q}_s)^2}}$$

$Q_{p,s}$: 模式推估之洪峰流量

$Q_{p,r}$: 觀測之洪峰流量

T_s : 模式推估之洪峰到達時刻

T_r : 觀測之洪峰到達時刻

Q_s : 模式推估之流量

Q_r : 觀測之流量

$\bar{Q}_r$: 觀測流量之平均值

土壤厚度採樣驗證析

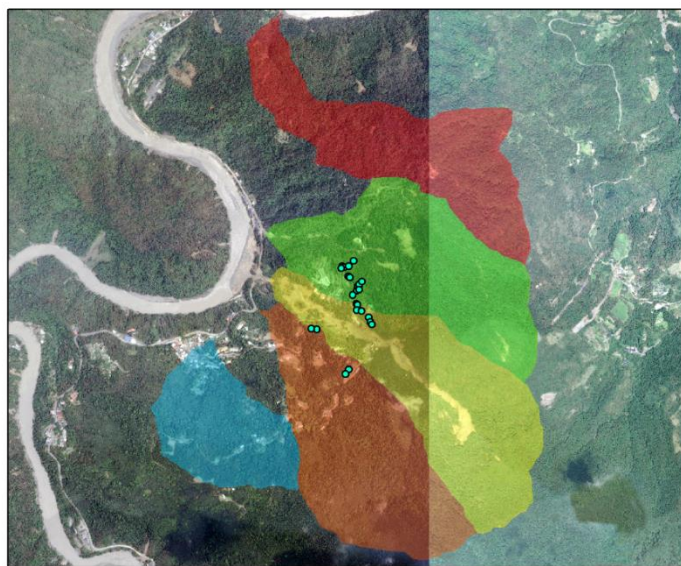
於烏來忠治里示範集水區

完成24處調查點位

土壤厚度最小為0.30 m

土壤厚度最大為0.90 m

土壤平均厚度為0.53 m



0 200 400 800 1,200
m

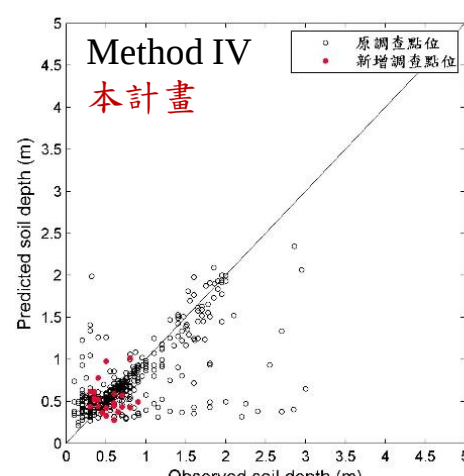
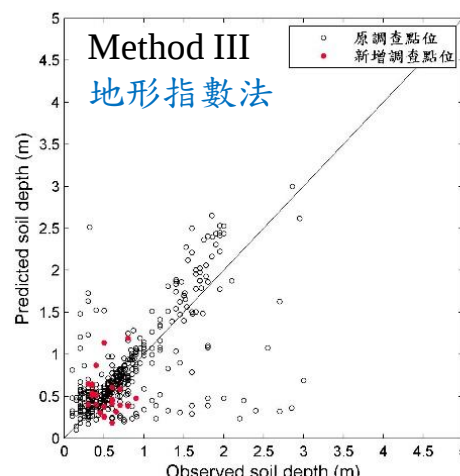
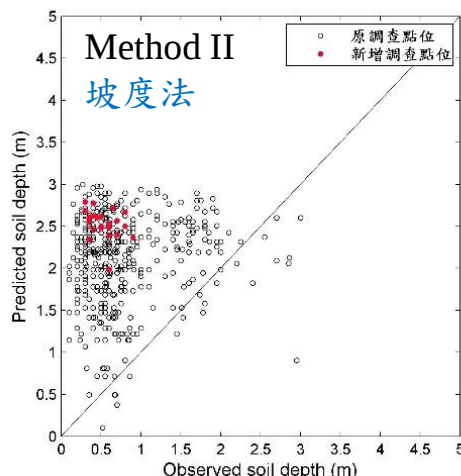
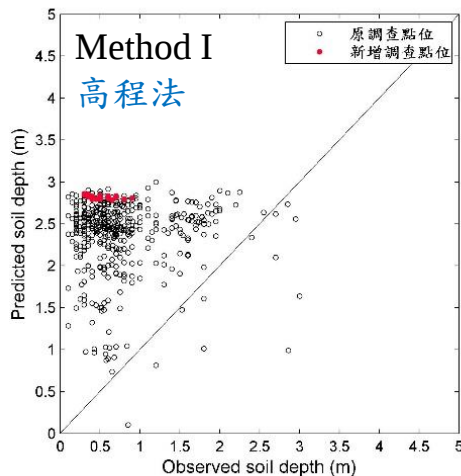
- 土壤調查點位
- 台九甲線3K 子集水區
- 台九甲線9K 子集水區
- 台九甲線10.2K 子集水區
- 台九甲線11K 子集水區
- 台九甲線13K 子集水區

施工概況



調查時間：106.09.18

土壤厚度分析結果



$$D_j = D_{\max} - \frac{E_j - E_{\min}}{E_{\max} - E_{\min}} (D_{\max} - D_{\min})$$

$$D_j = D_{\max} \left[1 - \frac{\tan \beta_i - \tan \beta_{\min}}{\tan \beta_{\max} - \tan \beta_{\min}} \left(1 - \frac{D_{\min}}{D_{\max}} \right) \right]$$

$$D_j = D_{\min} + \frac{TI_j - TI_{\min}}{TI_{\max} - TI_{\min}} (D_{\max} - D_{\min})$$

$$D_j = 0.1 \cdot TI_j$$

$$EP(\%) = \frac{\sum_{t=1}^n (D - \bar{B})}{\sum_{t=1}^n D} \cdot 100$$

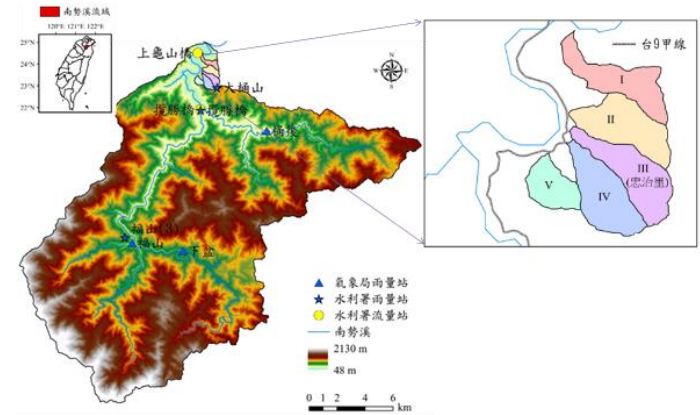
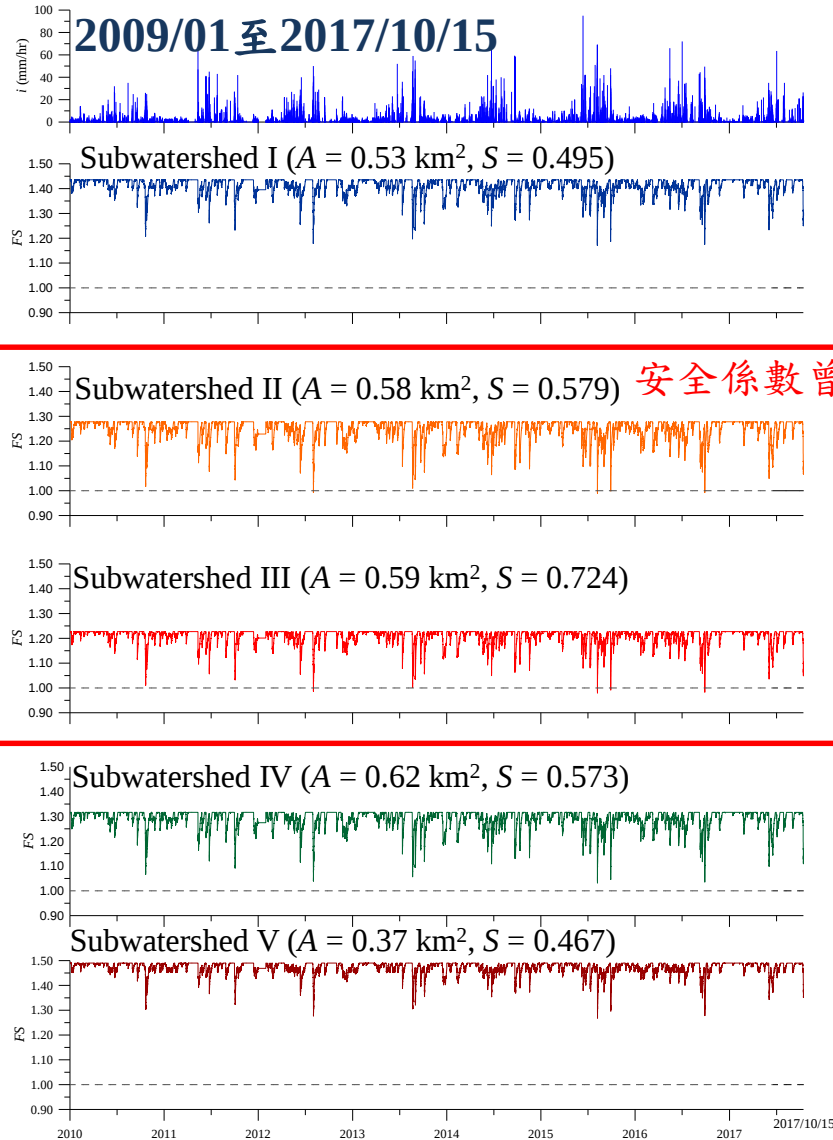
$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (D - \bar{D})(\bar{B} - \bar{B})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (D - \bar{D})^2 \cdot \sum_{t=1}^n (\bar{B} - \bar{B})^2}}$$

D : 觀測土壤厚度, $\bar{D}$: 觀測平均土壤厚度

$\bar{B}$: 預測土壤厚度, $\bar{B}$: 預測平均土壤厚度

	Method I 高程法	Method II 坡度法	Method III 地形指數法	Method IV 本研究
誤差百分比 EP (%)	217.982	185.293	32.678	28.411
相關係數CC	0.018	0.087	0.672	0.672

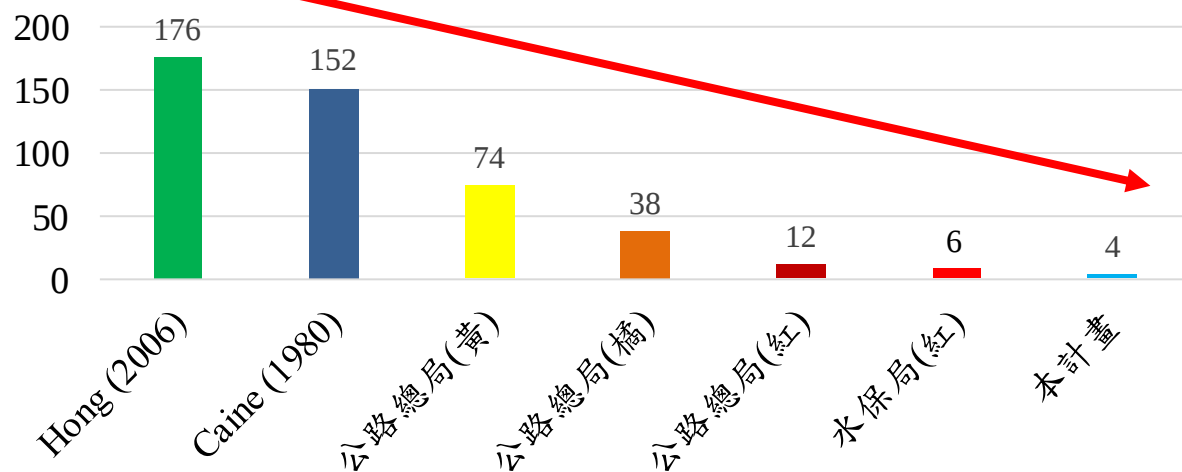
烏來忠治里淺層崩塌預警模式分析驗證



烏來忠治里示範集水區-長時間系統性評估

警報次數

實際發生崩塌事件：3次
(蘇迪勒、杜鵑、梅姬颱風)



實際 \ 預報	崩塌	未崩塌
	命中發生 Hits	失誤 Misses
崩塌	命中發生 Hits	失誤 Misses
未崩塌	假警報 False alarms	命中未發生 No events

可偵測率 (Probability of detection, POD)

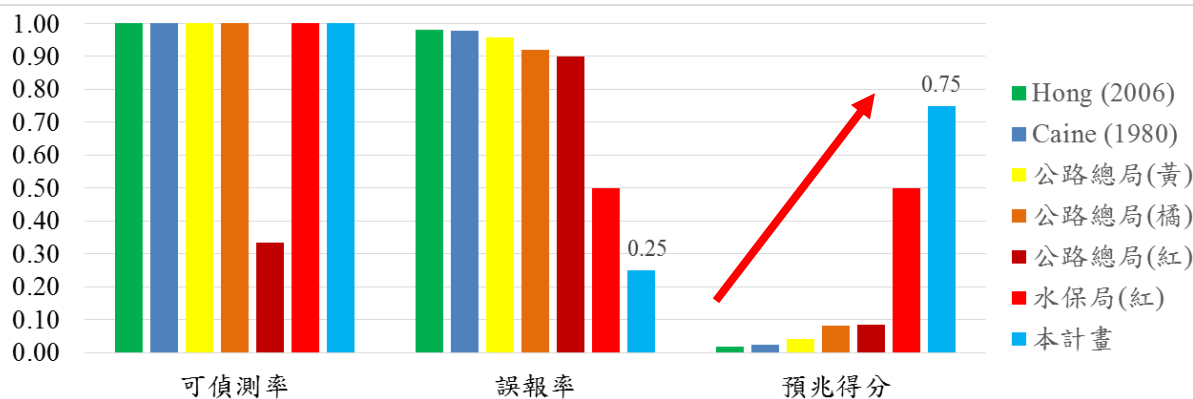
$$POD = \frac{\text{Hits}}{\text{Hits} + \text{Misses}}$$

誤報率 (False alarm ratio, FAR)

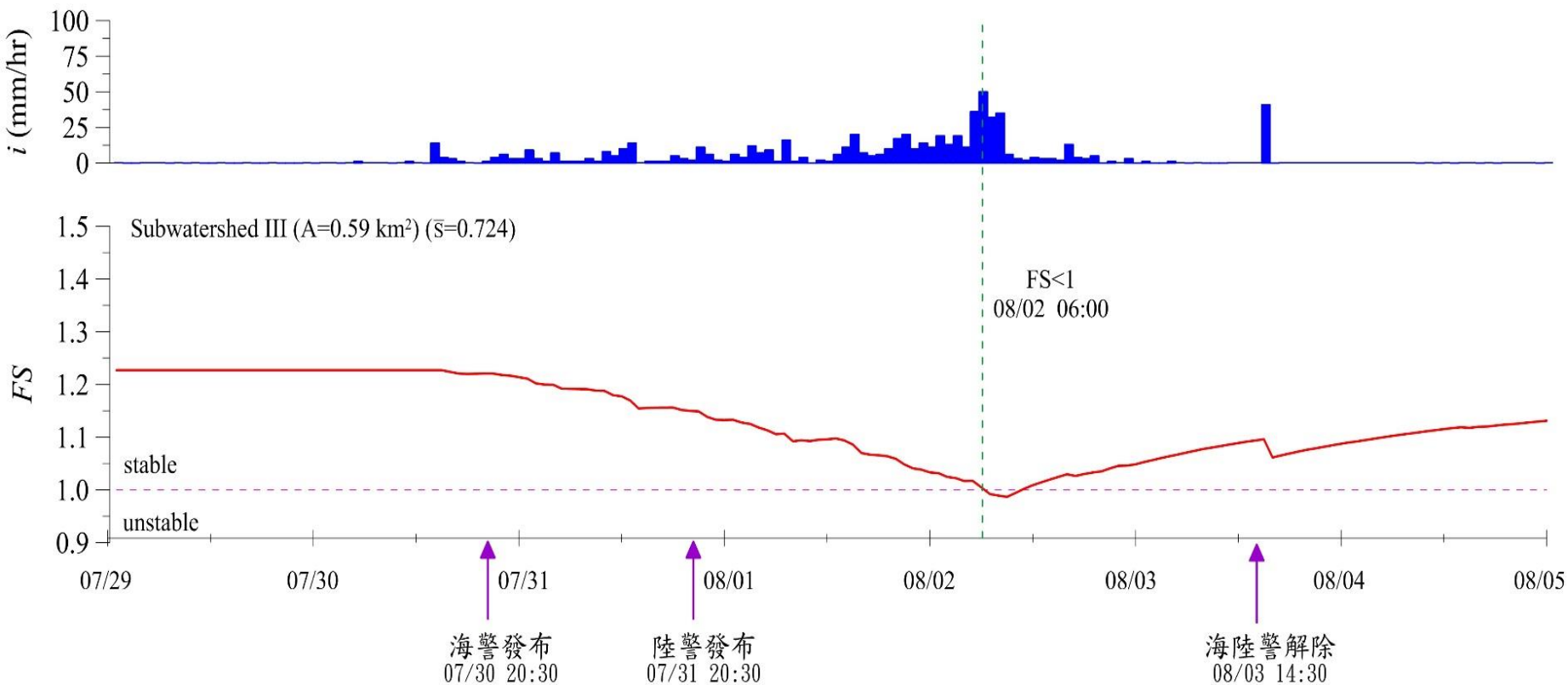
$$FAR = \frac{\text{False alarms}}{\text{Hits} + \text{False alarms}}$$

預兆得分 (Threat score, TS)

$$TS = \frac{\text{Hits}}{\text{Hits} + \text{False alarms} + \text{Misses}}$$

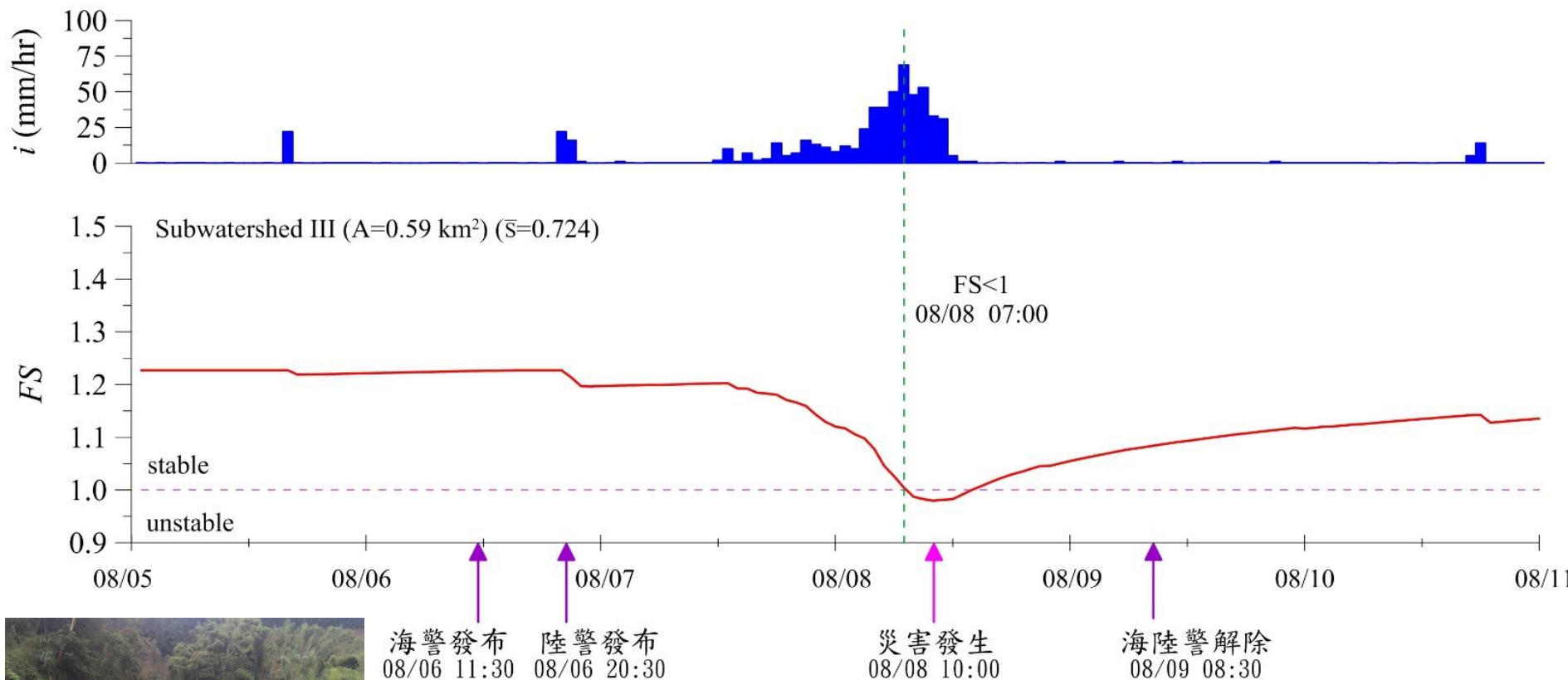


蘇拉颱風- 集水區III (台9甲線10.2K)



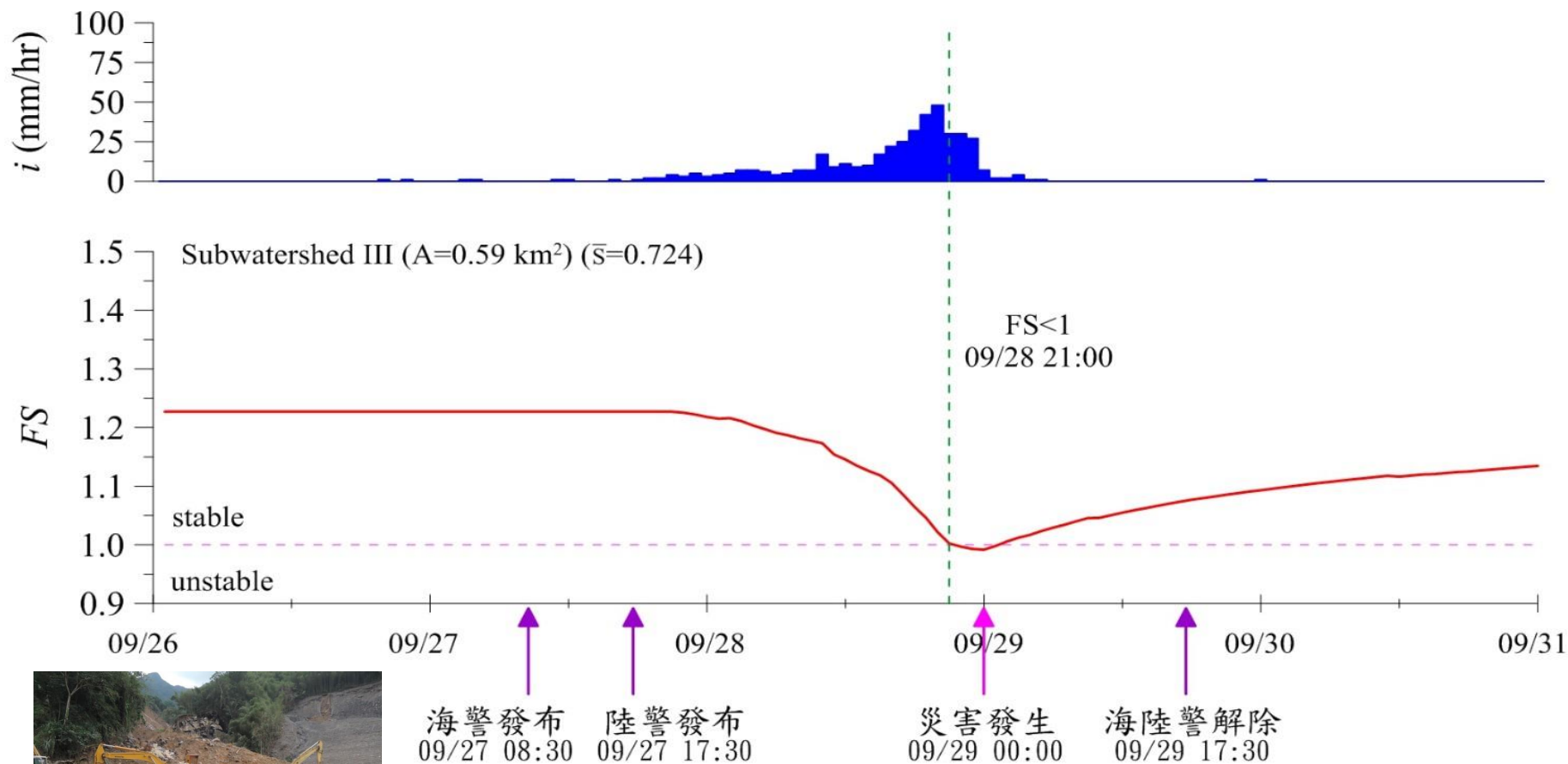
False alarm !

蘇迪勒颱風- 集水區III (台9甲線10.2K)



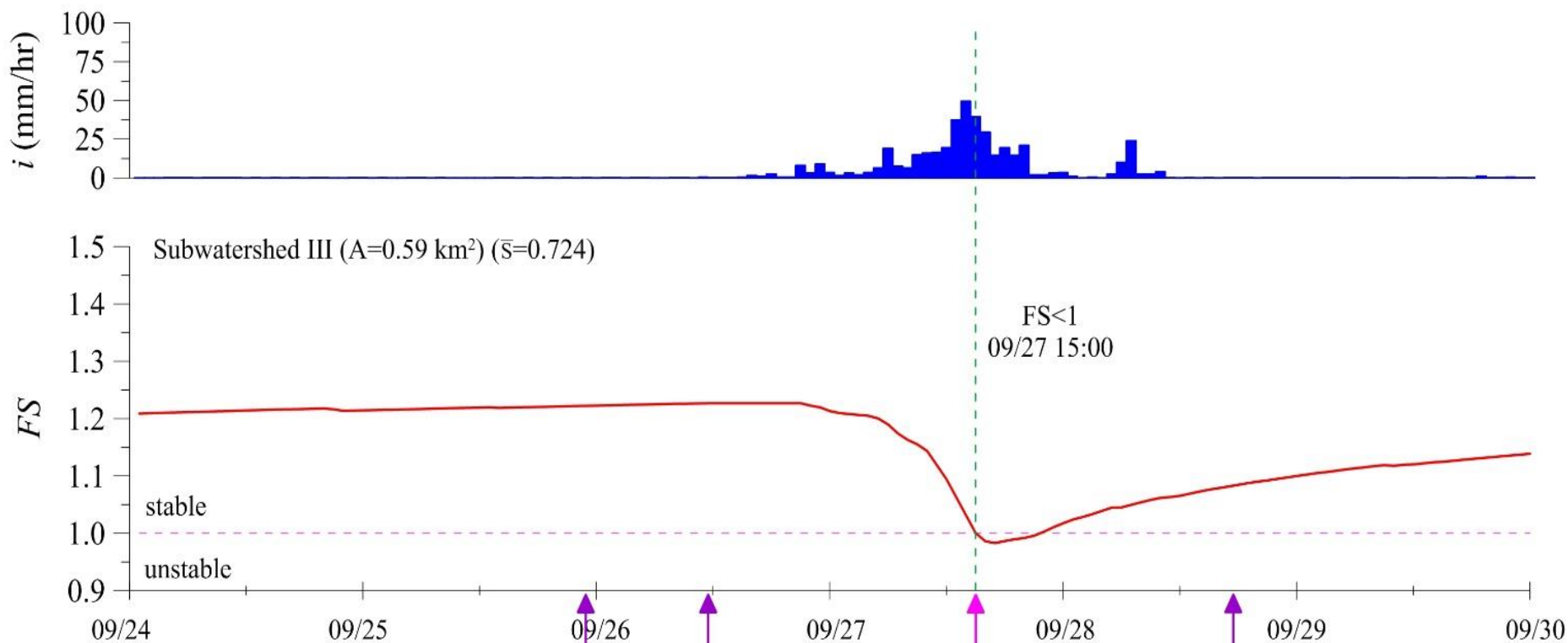
提早3小時 (hit)

杜鵑颱風- 集水區III(台9甲線10.2K)



提早3小時 (hit)

梅姬颱風- 集水區III(台9甲線10.2K)



海警發布
09/25 23:30

陸警發布
09/26 11:30

災害發生
09/27 15:00

海陸警解除
09/28 17:30

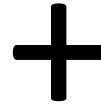
hit



結合預報降雨之淺層崩塌預警模式



6小時降雨預報
+
即時觀測雨量

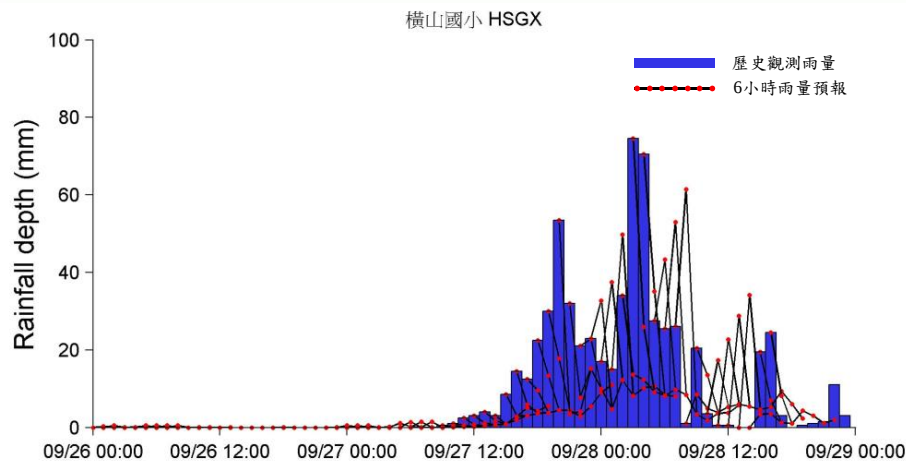
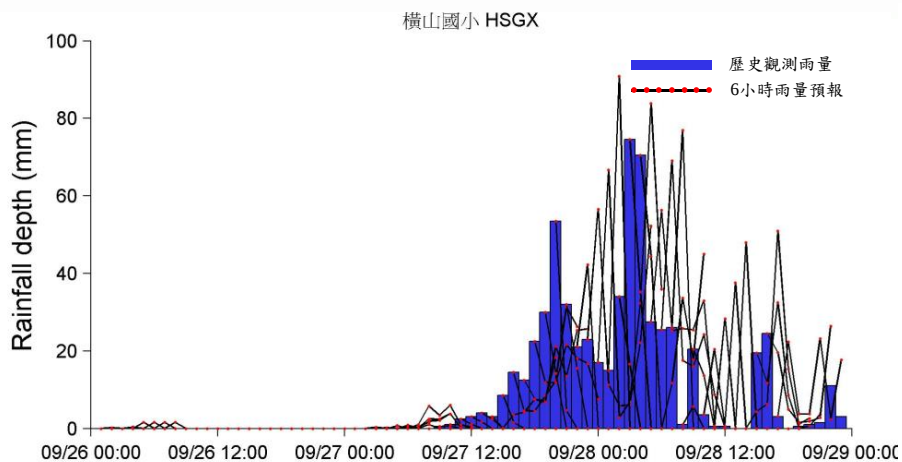
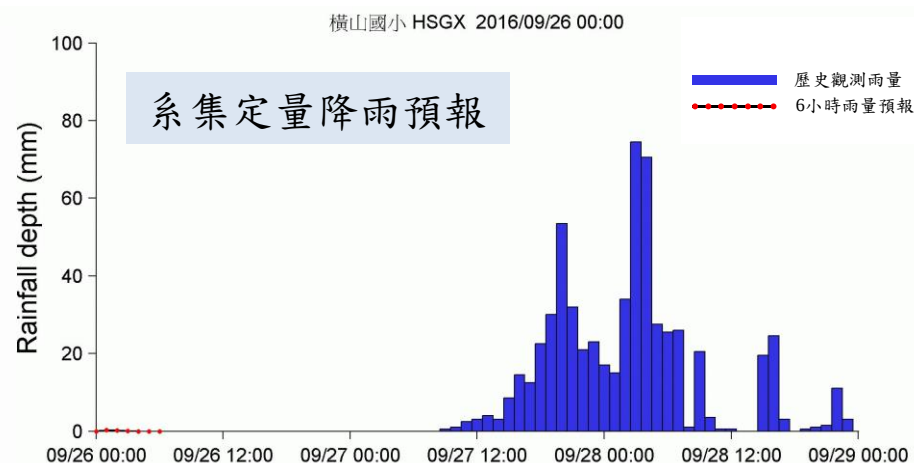
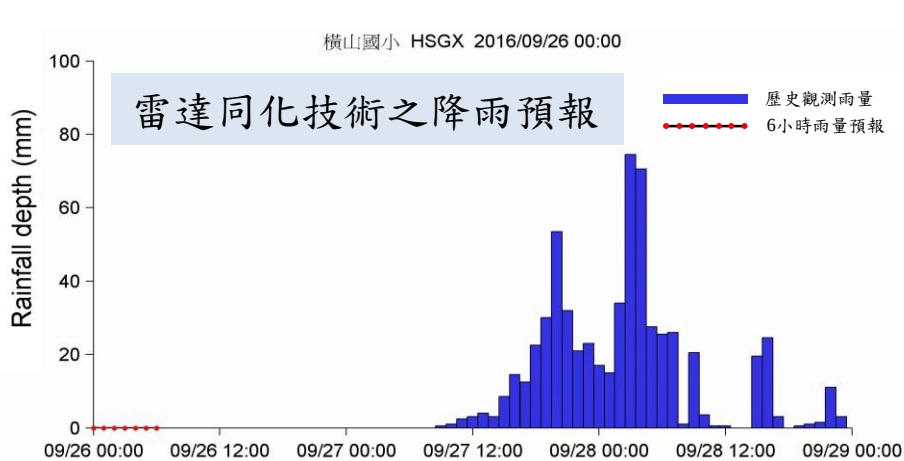


淺層崩塌
預警模式

未來6小時預報降雨成果(雨量站：橫山國小)

燕巢東燕里示範集水區

105年梅姬颱風



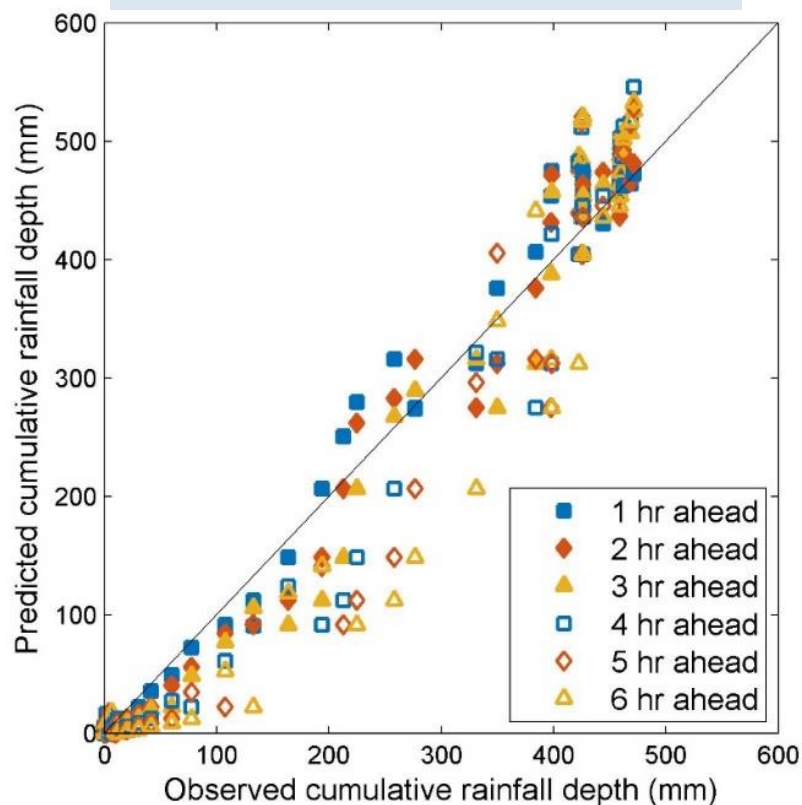
以雷達同化技術之降雨預報，有效改善預報雨量之低估。

未來6小時累積預報雨量成果

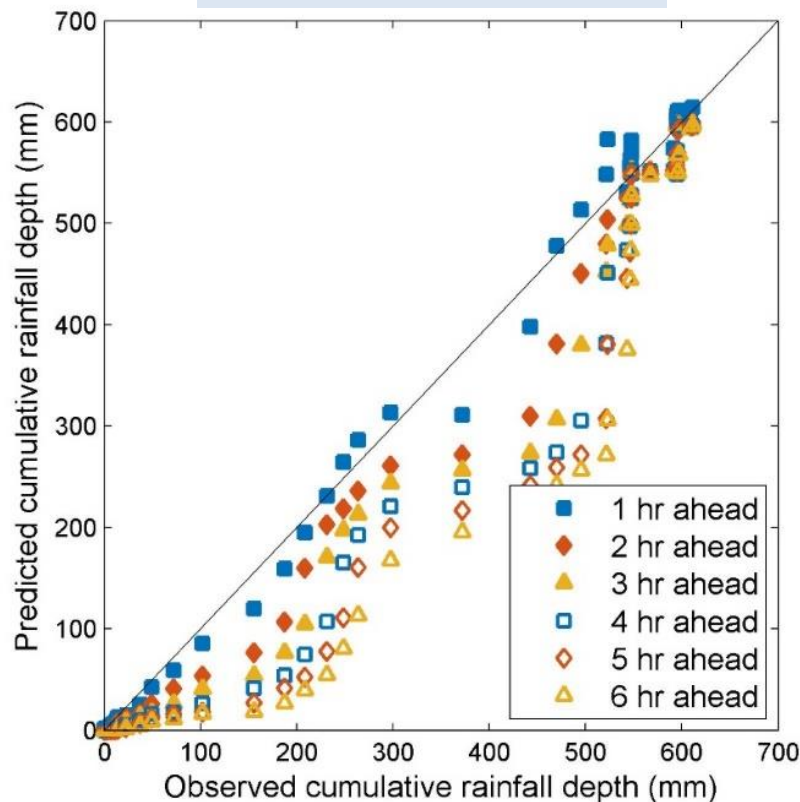
燕巢東燕里示範集水區

105年梅姬颱風

雷達同化技術之降雨預報



系集定量降雨預報



45度線圖

預報高估

預報低估

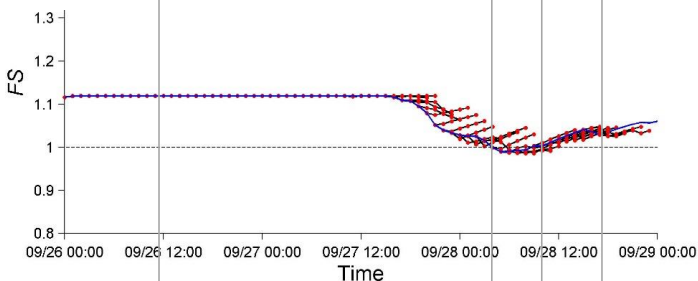
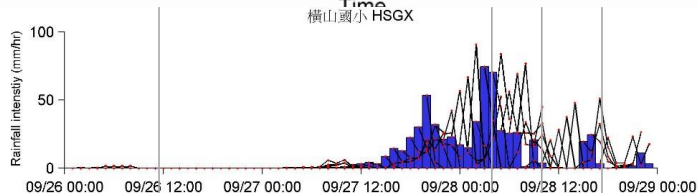
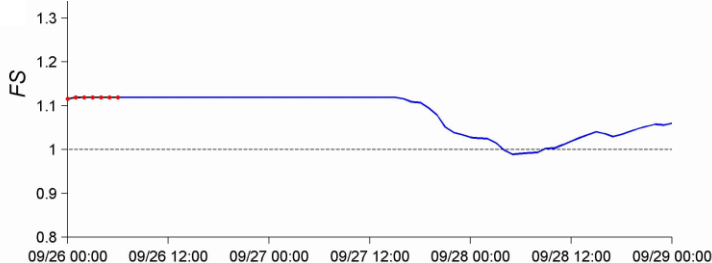
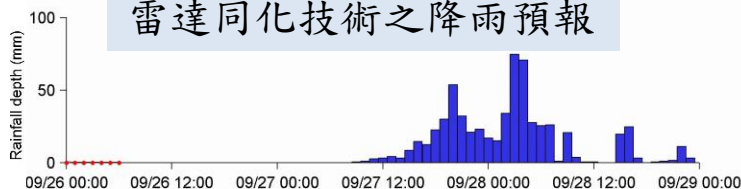
應用雷達資料同化技術之降雨預報應可改善雨量預報低估現象。

結合預報雨量與淺層崩塌模式分析

燕巢東燕里示範集水區

105年梅姬颱風

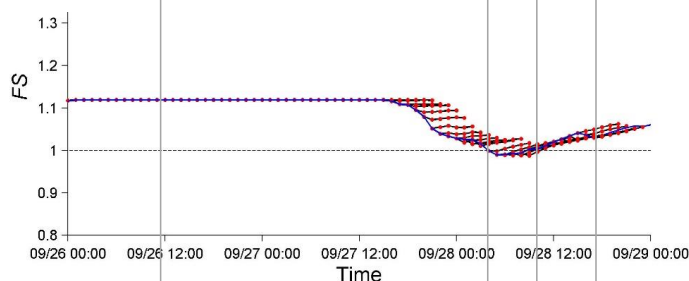
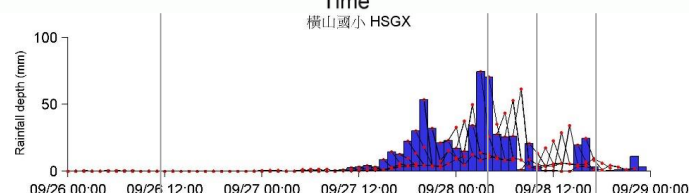
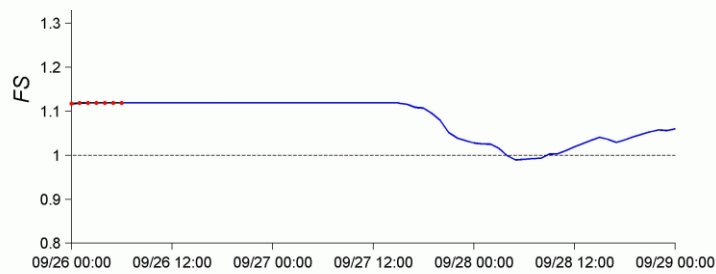
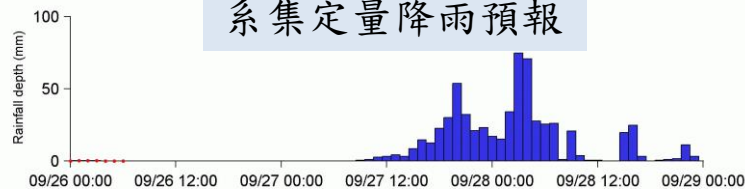
雷達同化技術之降雨預報



海警發布 陸警發布
09/25 23:30 09/26 11:30

FS < 1 災害通報 海陸警解除
09/28 04:00 09/28 10:00 09/28 17:30

系集定量降雨預報



海警發布 陸警發布
09/25 23:30 09/26 11:30

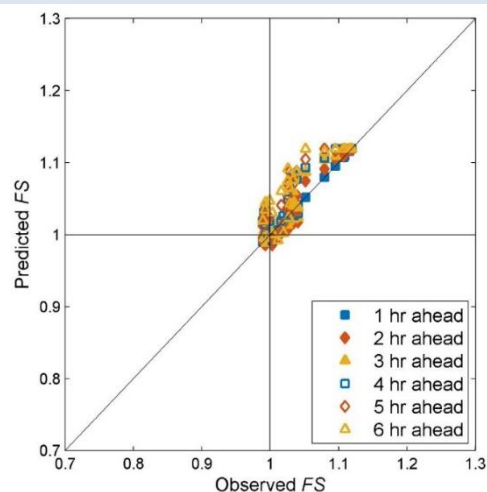
FS < 1 災害通報 海陸警解除
09/28 04:00 09/28 10:00 09/28 17:30

結合預報雨量與淺層崩塌模式成果

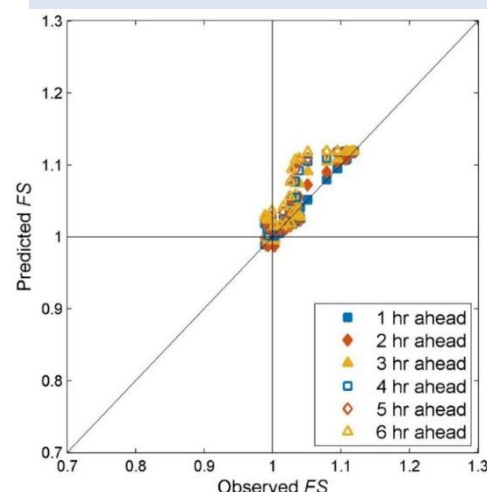
燕巢東燕里示範集水區

105年梅姬颱風

雷達同化技術之降雨預報



系集定量降雨預報



預測 $FS > 1$	Misses	No events
預測 $FS < 1$	Hits	False alarms
	觀測 $FS < 1$	觀測 $FS > 1$

颱風事件	預報時間	誤差矩陣				評估指標			
		Misses	No events	Hits	False alarms	POD	FAR	TS	ACC
梅姬	1 hr	0	62	5	0	1.000	0.000	1.000	1.000
	2 hr	0	61	5	0	1.000	0.000	1.000	1.000
	3 hr	1	59	4	1	0.800	0.200	0.667	0.969
	4 hr	3	57	2	2	0.400	0.500	0.286	0.922
	5 hr	5	56	0	2	0.000	1.000	0.000	0.889
	6 hr	5	54	0	3	0.000	1.000	0.000	0.871

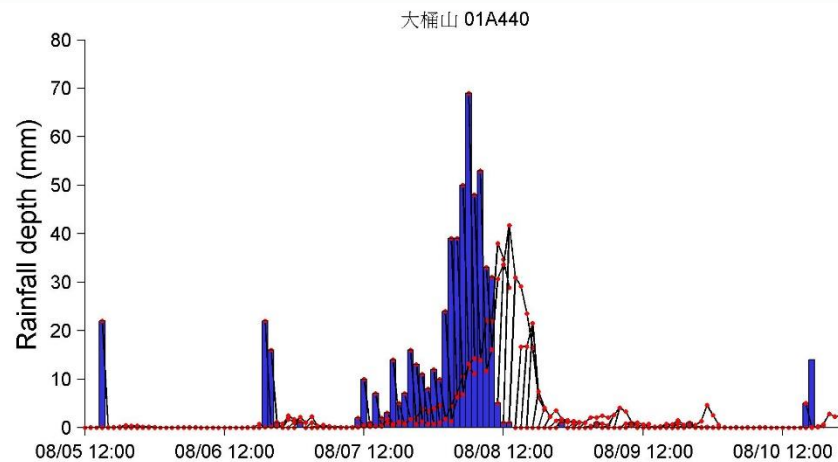
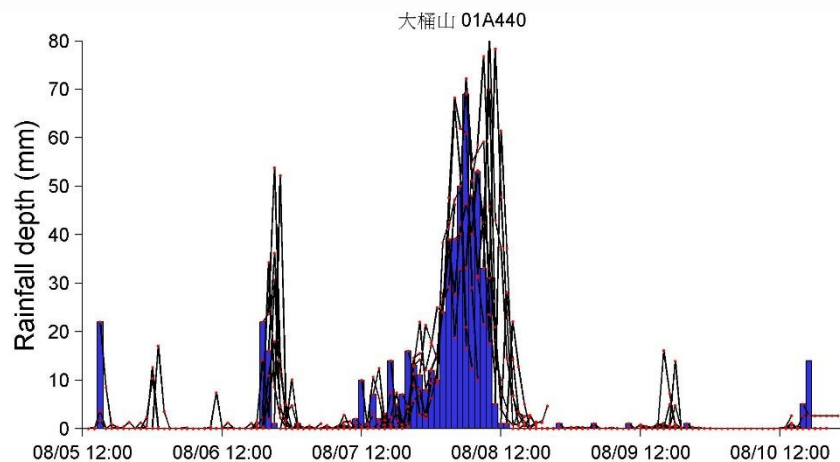
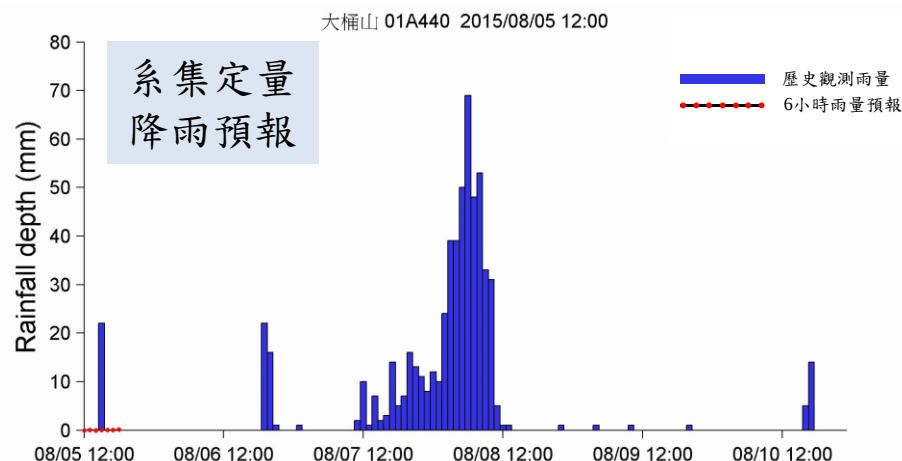
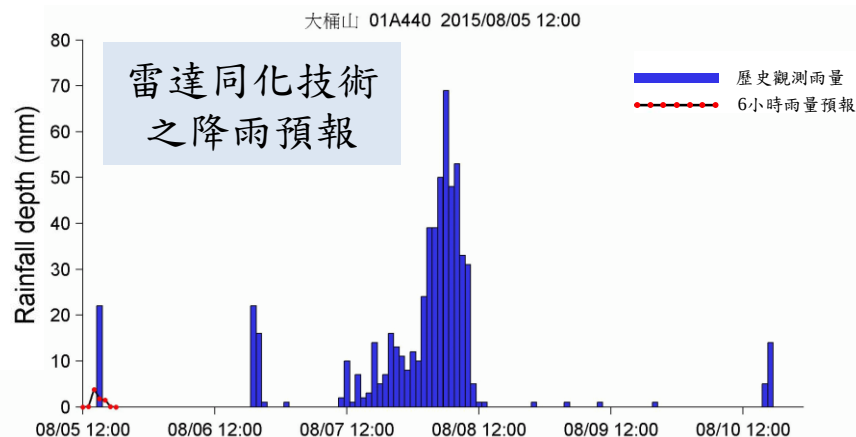
颱風事件	預報時間	誤差矩陣				評估指標			
		Misses	No events	Hits	False alarms	POD	FAR	TS	ACC
梅姬	1 hr	0	62	5	0	1.000	0.000	1.000	1.000
	2 hr	0	61	5	0	1.000	0.000	1.000	1.000
	3 hr	1	59	4	1	0.800	0.200	0.667	0.969
	4 hr	3	57	2	2	0.400	0.500	0.286	0.922
	5 hr	5	58	0	0	0.000	-	0.000	0.921
	6 hr	5	57	0	0	0.000	-	0.000	0.919

兩種定量降雨預報在**第1至2小時**之崩塌預警表現良好。

未來6小時預報降雨成果(雨量站：大桶山)

新北忠治里示範集水區

104年蘇迪勒颱風



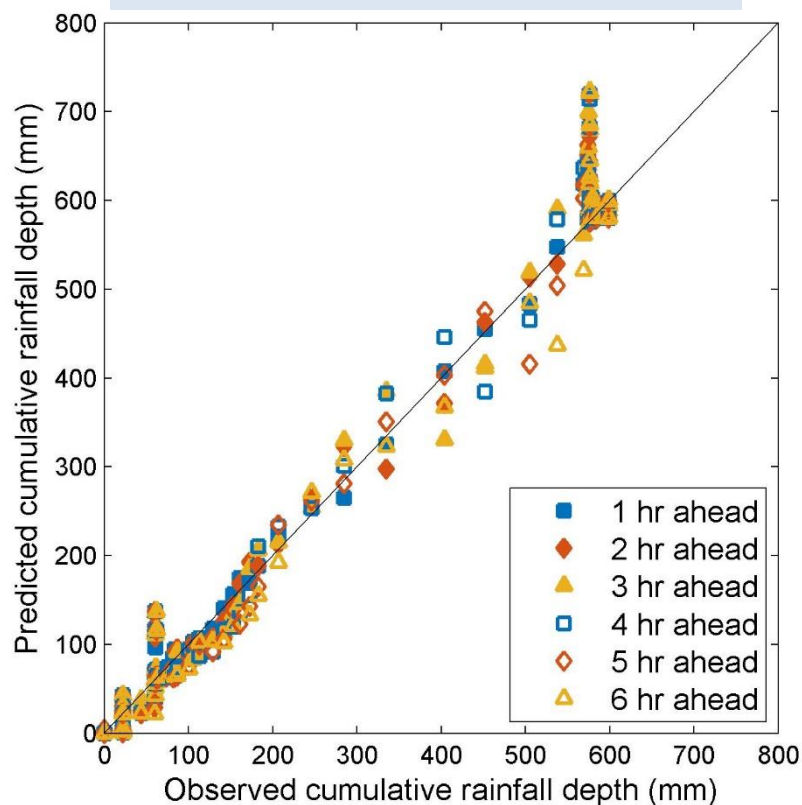
以雷達同化技術之降雨預報，有效改善預報雨量之低估、雨型之偏差。

未來6小時累積預報雨量成果

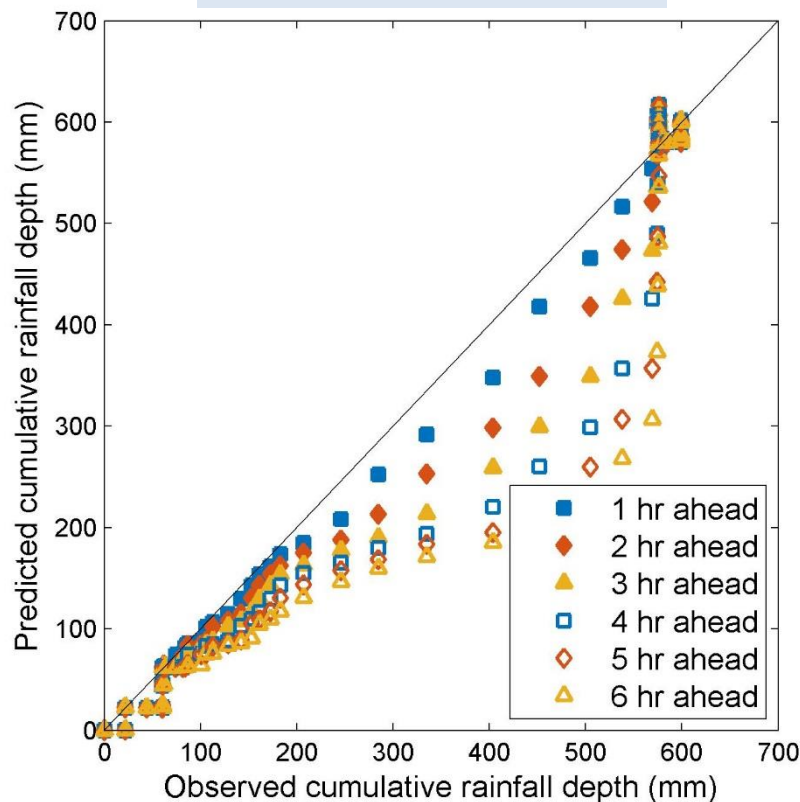
新北忠治里示範集水區

104年蘇迪勒颱風

雷達同化技術之降雨預報



系集定量降雨預報



45度線圖

預報高估

預報低估

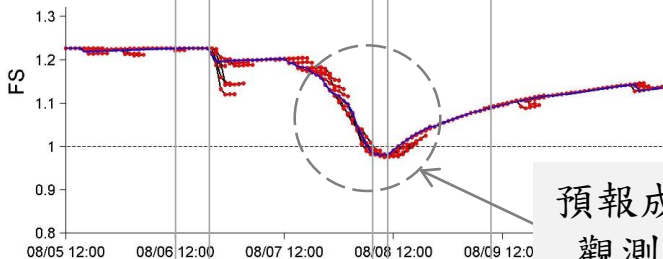
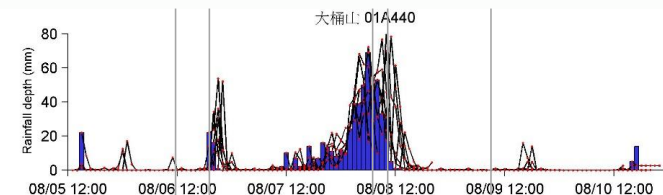
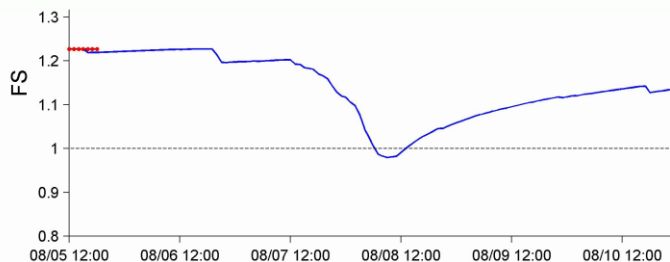
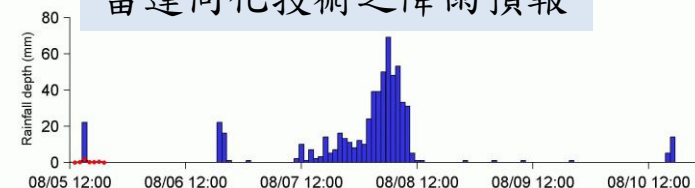
應用雷達資料同化技術之降雨預報則可以改善雨量低估現象。

結合預報雨量與淺層崩塌模式分析

新北忠治里示範集水區

104年蘇迪勒颱風

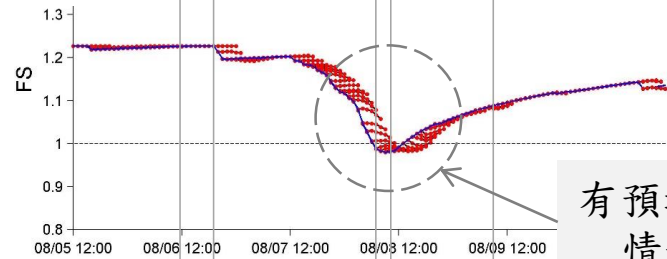
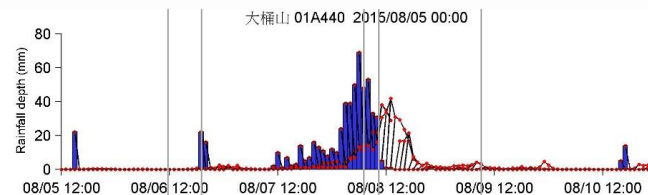
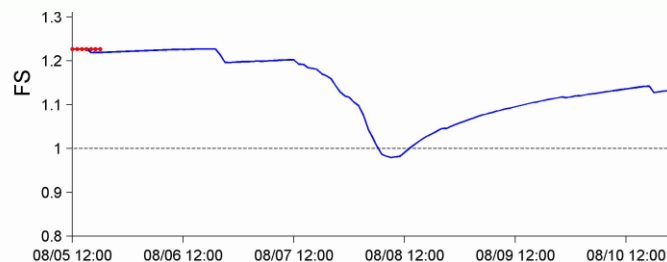
雷達同化技術之降雨預報



預報成果大致與
觀測紀錄相符

海警發布 陸警發布 FS < 1 災害通報 海陸警解除
08/06 11:30 08/06 20:30 08/08 07:00 08/08 10:00 08/09 08:30

系集定量降雨預報



有預報低估之
情形發生

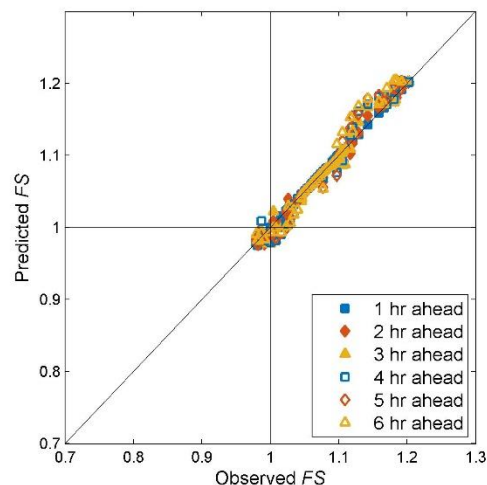
海警發布 陸警發布 FS < 1 災害通報 海陸警解除
08/06 11:30 08/06 20:30 08/08 07:00 08/08 10:00 08/09 08:30

結合預報雨量與淺層崩塌模式成果

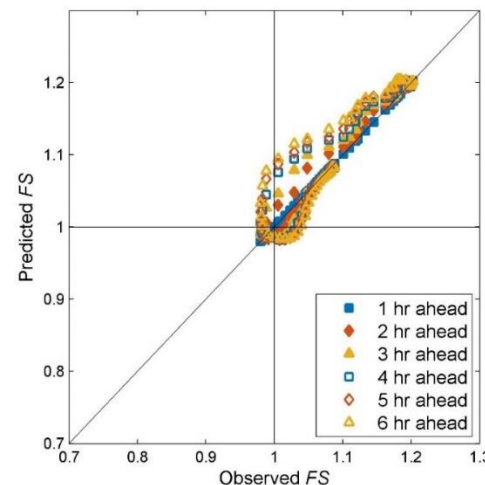
新北忠治里示範集水區

104年蘇迪勒颱風

雷達同化技術之降雨預報



系集定量降雨預報



預測 $FS > 1$	Misses	No events
預測 $FS < 1$	Hits	False alarms
	觀測 $FS < 1$	觀測 $FS > 1$

颱風事件	預報時間	誤差矩陣				評估指標			
		Misses	No events	Hits	False alarms	POD	FAR	TS	ACC
蘇迪勒	1 hr	0	52	6	0	1.000	0.000	1.000	1.000
	2 hr	0	51	6	0	1.000	0.000	1.000	1.000
	3 hr	0	48	6	2	1.000	0.250	0.750	0.964
	4 hr	0	46	6	3	1.000	0.333	0.667	0.945
	5 hr	1	44	5	4	0.833	0.444	0.500	0.907
	6 hr	0	42	6	5	1.000	0.455	0.545	0.906

颱風事件	預報時間	誤差矩陣				評估指標			
		Misses	No events	Hits	False alarms	POD	FAR	TS	ACC
蘇迪勒	1 hr	0	52	6	0	1.000	0.000	1.000	1.000
	2 hr	0	51	6	0	1.000	0.000	1.000	1.000
	3 hr	1	48	5	2	0.833	0.286	0.625	0.946
	4 hr	2	45	4	4	0.667	0.500	0.400	0.891
	5 hr	3	43	3	5	0.500	0.625	0.273	0.852
	6 hr	4	41	2	6	0.333	0.750	0.167	0.811

雷達同化技術之降雨預報在第1至6小時之崩塌預警表現良好。

分析事件（採用海上警報時段）

系統性評估主要目的：

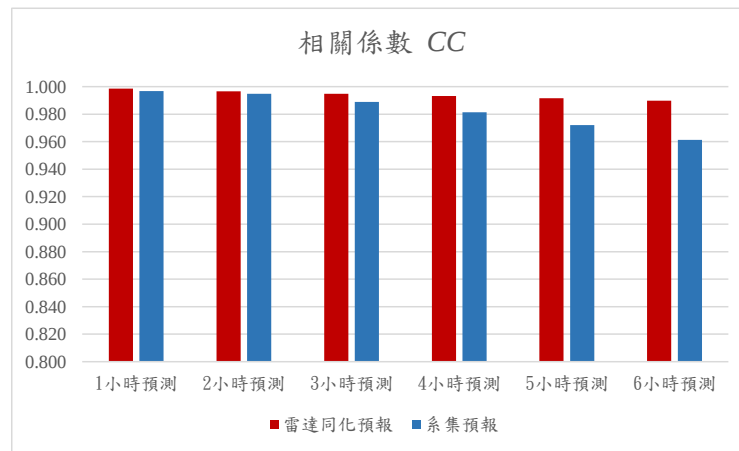
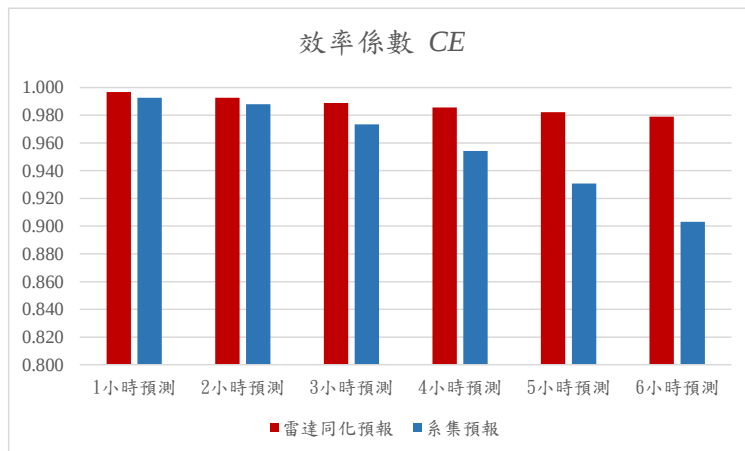
- 評估預報雨量與觀測雨量的相關性
- 評估崩塌預警模式的能力

颱風事件	編號	警報發布時間	警報解除時間	分析時數	致災位置
梅姬 (MEGI)	201617	海上 105-09-25 23:30 陸上 105-09-26 11:30	海上 105-09-28 17:30 陸上 105-09-28 17:30	40 hr	燕巢東燕里 烏來忠治里
莫蘭蒂 (MERANTI)	201614	海上 105-09-12 23:30 陸上 105-09-13 08:30	海上 105-09-15 11:30 陸上 105-09-15 11:30	58 hr	無災害
尼伯特 (NEPARTAK)	201601	海上 105-07-06 14:30 陸上 105-07-06 20:30	海上 105-07-09 14:30 陸上 105-07-09 14:30	58 hr	無災害
杜鵑 (DUJUAN)	201521	海上 104-09-27 08:30 陸上 104-09-27 17:30	海上 104-09-29 17:30 陸上 104-09-29 17:30	73 hr	烏來忠治里
蘇迪勒 (SOUDELOR)	201513	海上 104-08-06 11:30 陸上 104-08-06 20:30	海上 104-08-09 08:30 陸上 104-08-09 08:30	73 hr	烏來忠治里
蓮花 (LINFA)	201510	海上 104-07-06 08:30 陸上 104-07-07 02:30	海上 104-07-09 05:30 陸上 104-07-07 14:30	70 hr	無災害

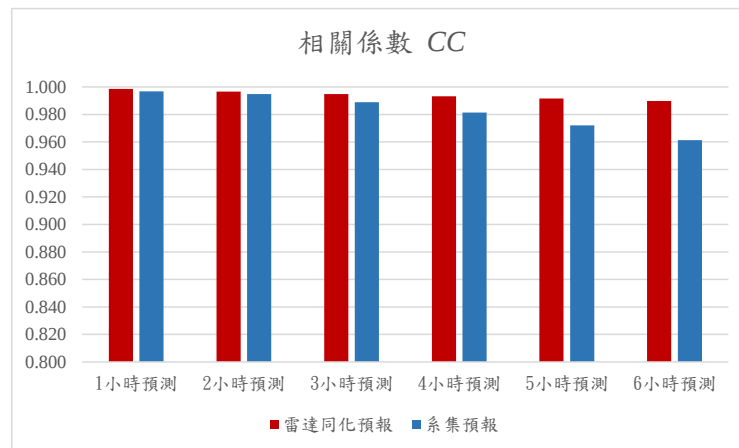
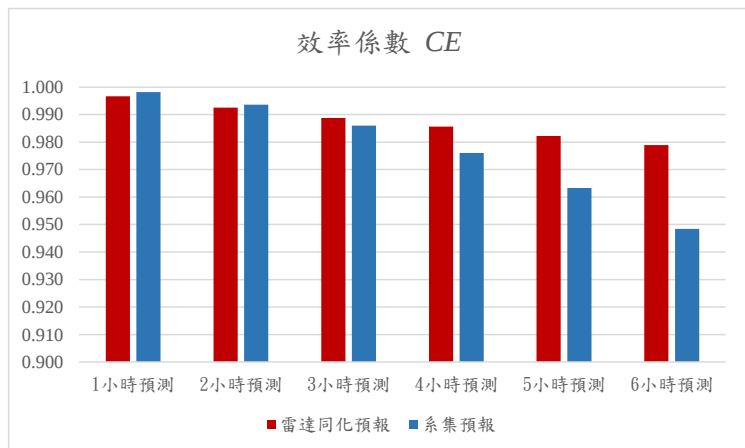
未來6小時預報降雨逐時分析

資料分析來源：民國105、104年6場颱風洪事件

燕巢東燕里
示範集水區



烏來忠治里
示範集水區



$$CE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (RA_t - \overline{RA}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (RA_t - \overline{RA})^2}$$

$$CC = \frac{\sum_{t=1}^n (RA_t - \overline{RA})(\overline{RA}_t - \overline{RA})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (RA_t - \overline{RA})^2 \cdot \sum_{t=1}^n (\overline{RA}_t - \overline{RA})^2}}$$

RA ：歷史紀錄累積雨量， $\overline{RA}$ ：歷史紀錄累積平均雨量
 $\overline{RA}_t$ ：預測累積降雨量， $\overline{RA}$ ：預測累積平均降雨量

預報降雨之崩塌預警評估

針對(1)兩種定量降雨預報；(2)兩處示範集水區；(3)6場颱風事件進行未來6小時崩塌預警之系統性評估。

預報方法	預報時間	Misses	No events	Hits	False alarms	POD	FAR	TS	ACC
雷達同化 降雨預報	1 hr	0	724	16	1	1.000	0.059	0.941	0.999
	2 hr	0	712	16	1	1.000	0.059	0.941	0.999
	3 hr	1	691	15	10	0.938	0.400	0.577	0.985
	4 hr	3	677	13	12	0.813	0.480	0.464	0.979
	5 hr	6	666	10	11	0.625	0.524	0.370	0.975
	6 hr	6	654	10	12	0.625	0.545	0.357	0.974
系集定量 降雨預報	1 hr	1	723	16	1	0.941	0.059	0.889	0.997
	2 hr	1	711	16	1	0.941	0.059	0.889	0.997
	3 hr	7	696	10	4	0.588	0.286	0.476	0.985
	4 hr	10	680	7	8	0.412	0.533	0.280	0.974
	5 hr	13	669	4	7	0.235	0.636	0.167	0.971
	6 hr	14	656	3	9	0.176	0.750	0.115	0.966

利用雷達資料同化技術之定量降雨預報，可提升未來1至6小時逐時的崩塌預報能力，崩塌預報可偵測率維持在0.625以上。

結論 (1/2)

- 本計畫應用雷達同化技術之定量降雨預報和系集定量降雨預報，以預測集水區中未來1至6小時之逐時降雨，且結合本計畫發展之物理型淺層崩塌預警模式進行模式分析，以建構完整之淺層崩塌即時預警模式。
- 本計畫發展之物理型淺層崩塌預警模式結合歷史觀測雨量資料，能有效改進前人的降雨門檻指標和降雨強度延時臨界曲線過度預報之情況，和僅能適用於某特定水文或地文條件下之集水區的限制。

結論 (2/2)

- 結合**觀測雨量資料**與進行崩塌模式之系統性評估：
 - (1)燕巢東燕里示範集水區：
淺層崩塌災害可偵測率(POD)為1.00，
誤報率(FAR)為0.50。
 - (2)烏來忠治里示範集水區：
淺層崩塌災害可偵測率(POD)為1.00，
誤報率(FAR)為0.25。
- 結合**未來6小時預報雨量**與進行崩塌模式之系統性評估：
 - (1)系集降雨預報
崩塌預警可偵測率(POD)維持在0.176以上，
正確率(ACC)均在0.966以上。
 - (2)雷達資料同化技術之降雨預報
崩塌預警可偵測率(POD)提高至0.625以上，
正確率(ACC)均在0.974以上。
- 由個案分析結果顯示，**崩塌模式結合雷達同化技術之未來6小時降雨預報**較系集降雨預報表現較佳。

建議

- 未來可蒐集重大災害事件並進行模式分析驗證，以確認此崩塌預警模式之精度與可靠度，跨領域整合大氣水文坡地前瞻關鍵技術。
- 未來可利用高精度雷達回波資料與數值高程資料，如進行高解析度之定量降雨推估(QPE)與定量降雨預報(QPF)、提升地形性水文模式與物理型崩塌模式之精度，將可在災前掌握颱風與豪雨動態，分析可能致災之時間與位置，將災害損失降至最低程度。

颱風降雨常引致
嚴重的坡地災害



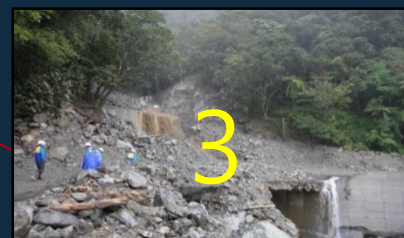
烏來忠治里
蘇迪勒颱風(2015)



金山重和村
象神颱風(2000)



瑞芳大粗坑
象神颱風(2000)



東澳蘇花公路
梅姬颱風(2010)



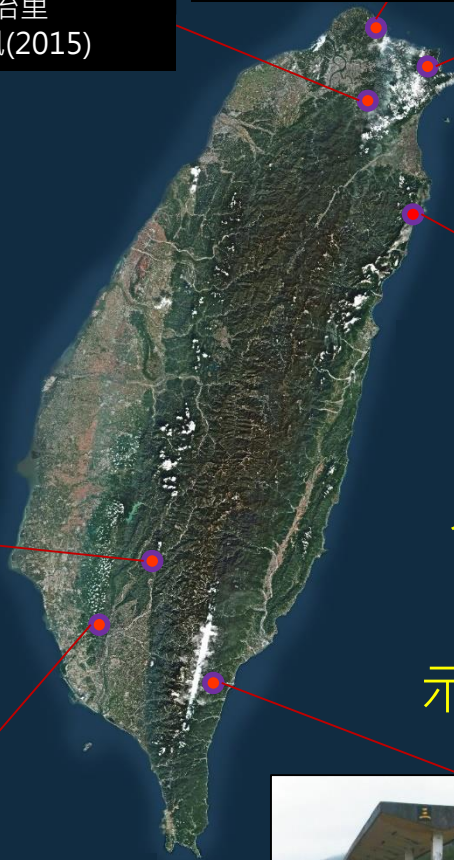
甲仙南橫公路
卡玖基颱風(2008)



燕巢東燕里
梅姬颱風(2016)



台東三和車站
卡努颱風(2017)



合計設立
10處
示範集水區



梅姬颱風災害抽樣於2017年9月至12月

科技部 科技部 科技部 科技部 科技部 科技部 科技部 科技部 科技部 科技部

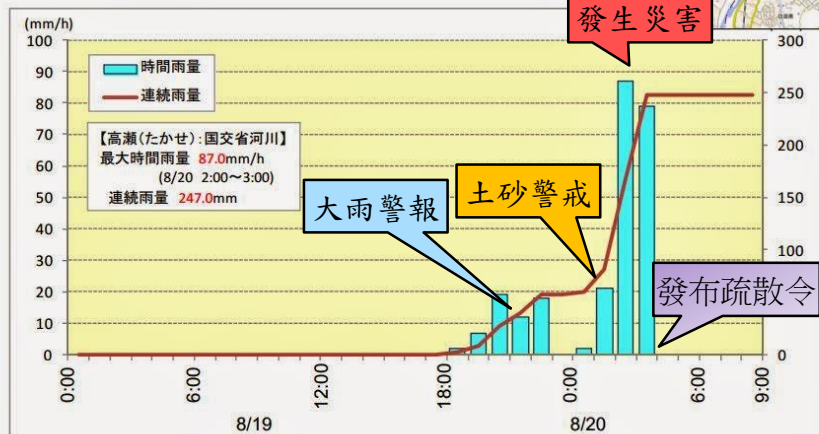
広島(Hiroshima)土砂災害

- 2014年広島市安佐南区土砂災害

- 大雨警報發布：8/19 21:25
- 土砂災害警戒情報發布：8/20 01:15

参考 8月19日から20日にかけての広島市安佐南区の降雨について 国土交通省

●観測所名：高瀬(たかせ)雨量観測所<国土交通省所管>
所在地：広島市安佐南区八木5丁目

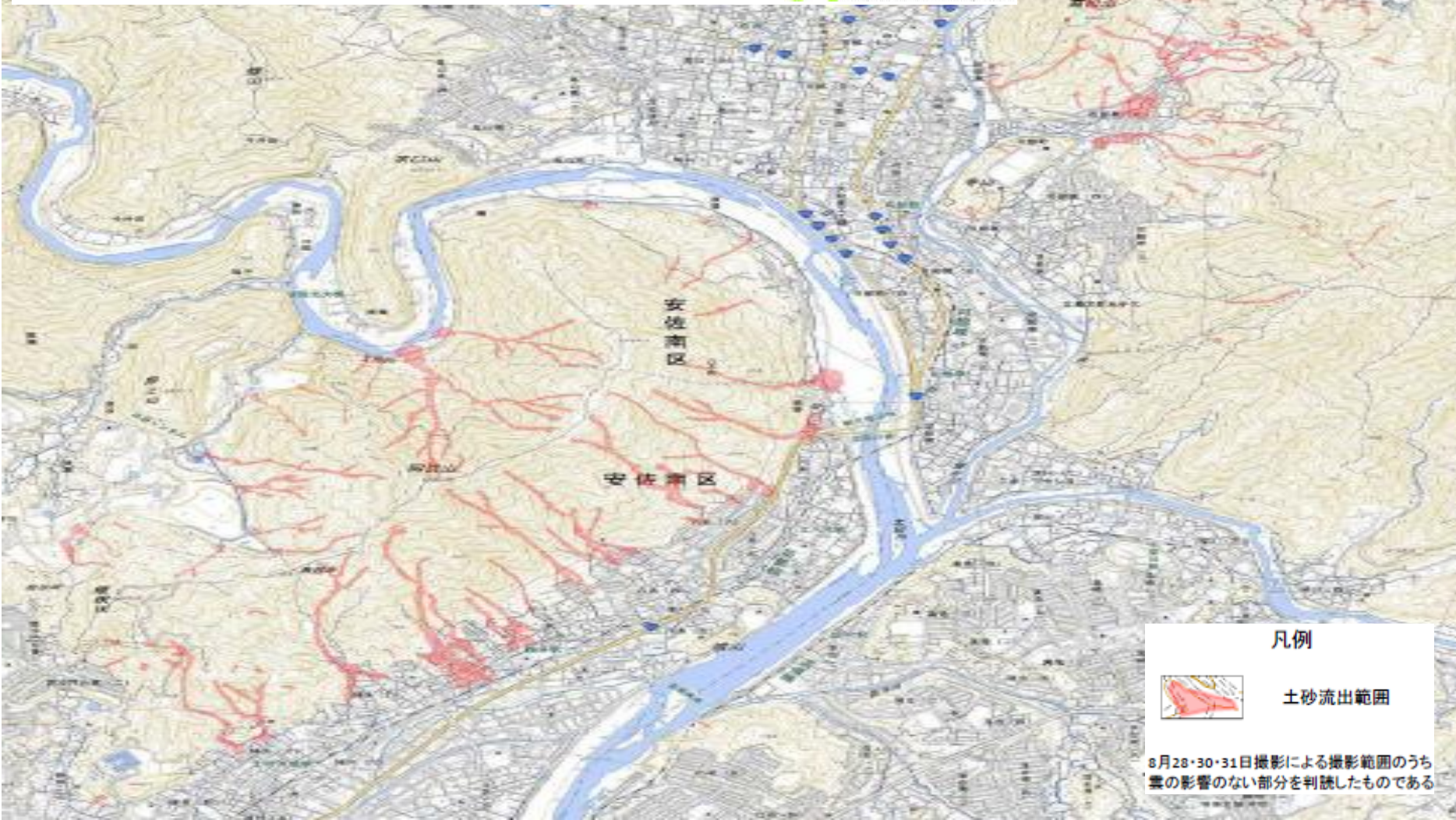


- 消防局接獲2人遭活埋通報：8/20 03:20
- 8/20 2:00~4:00間，累積超過 160 mm
- 広島市於清晨4時20分許發布疏散令，但為時已晚，災害已經發生，造成74人死亡與18人失蹤。

広島(Hiroshima)土砂災害

平成26年8月豪雨 8月28・30・31日撮影垂直写真による写真判読図

 国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan



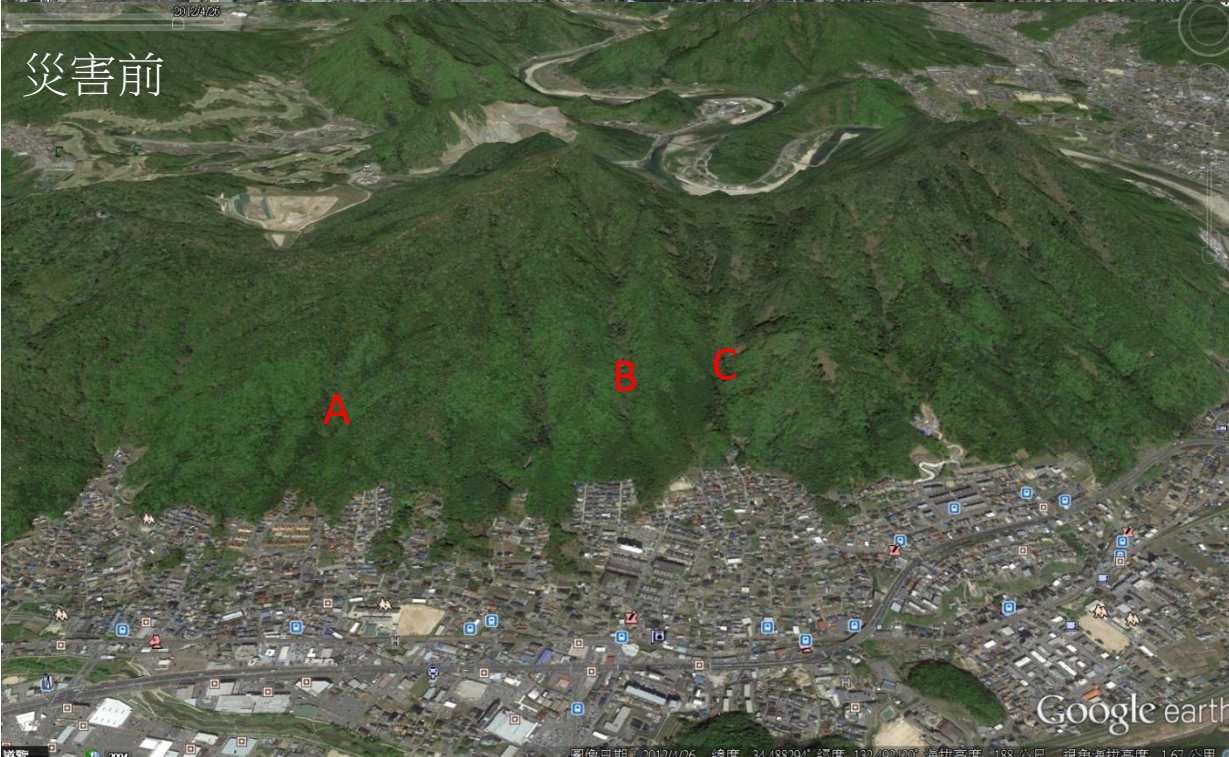
災害後

2014/1/5

AR Labs

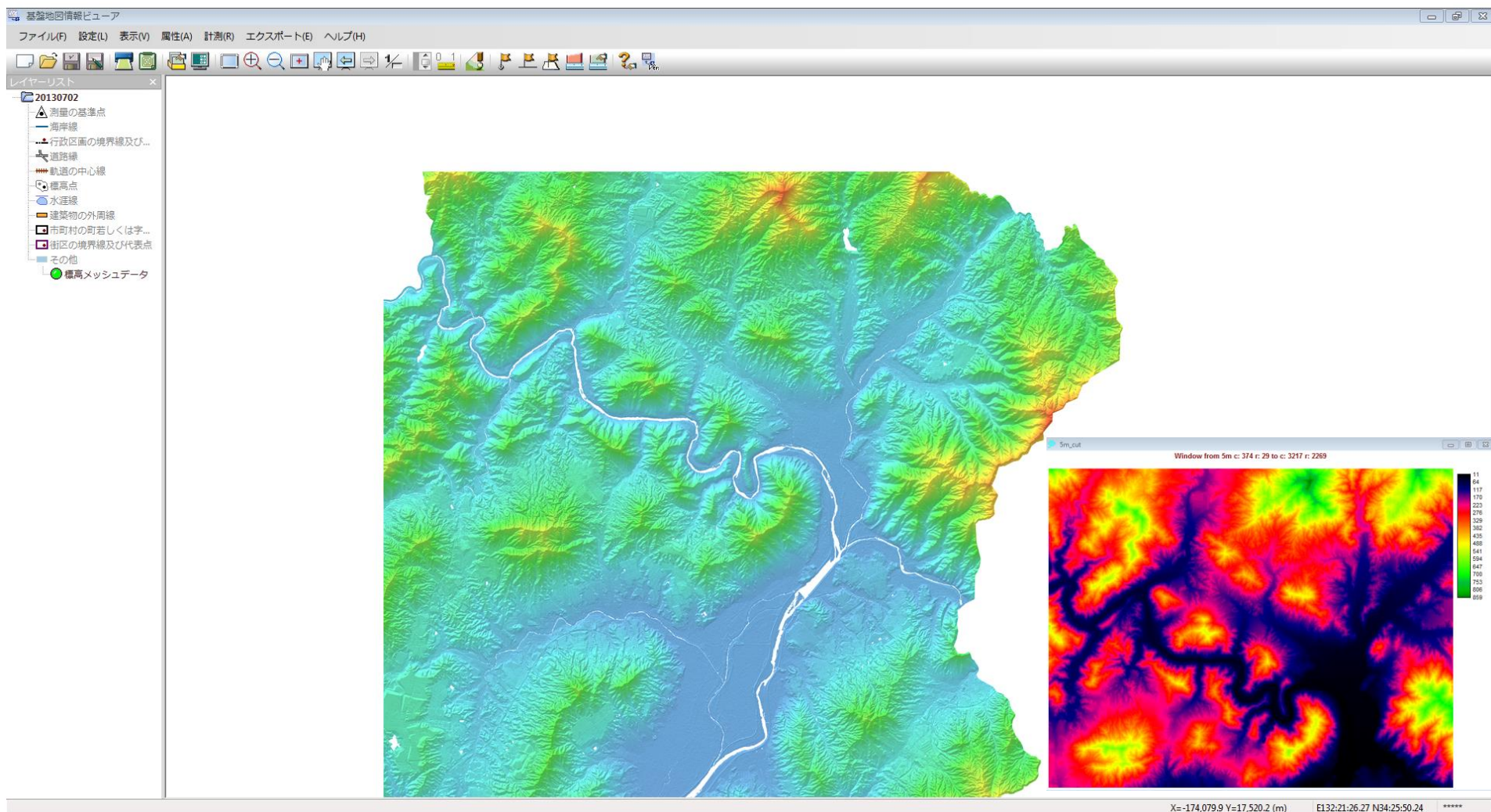


災害前



2012/4/26 緯度 34.488304° 経度 139.492501° 標高 188 公尺 測高海抜高度 1.67 公尺

Digital elevation Data (5m)



.XML->.SHP(POINT)->Raster 格式

<http://fgd.gsi.go.jp>

国土交通省

[ホーム](#) [English](#) [お問い合わせ](#) [気象情報](#)

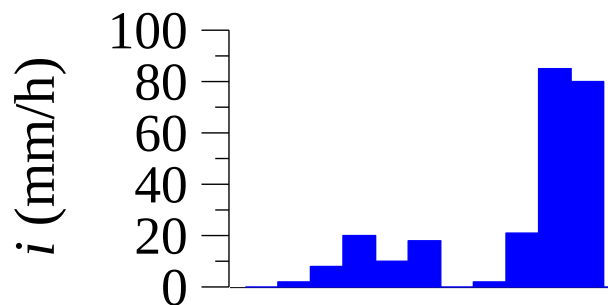
最新の気象情報、気象・気候について。

 [検索](#)[家](#)[災害信息](#)[各種気象の観測和材料](#)[知識和討論](#)[關於日本氣象廳](#)[指導、應用程序](#)[首頁](#) > [各種気象の観測和材料](#) > [過去の気象データ検索](#) > [州和地方の選擇](#)

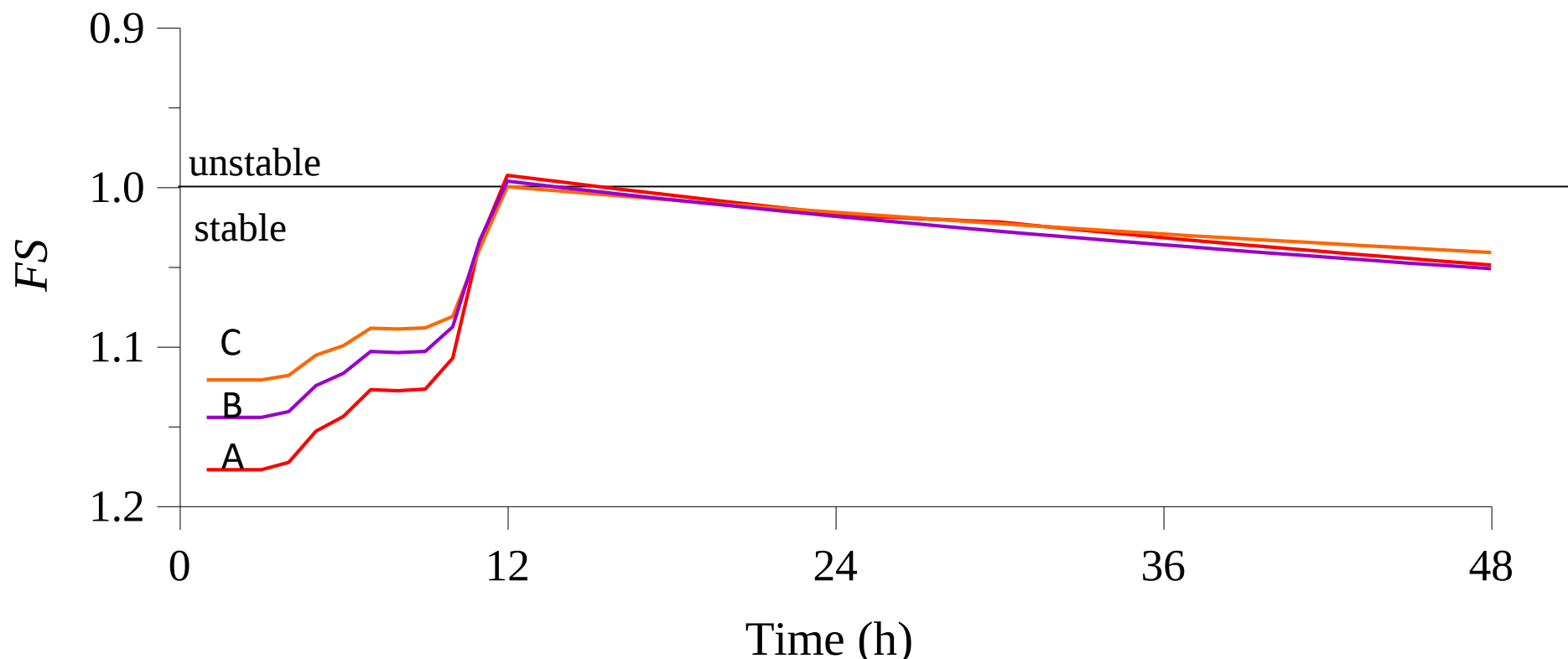
州和地方の選擇



初步測試



Location	Watershed	Contributing area (km ²)	Channel length (km)	Mean slope (m/m)	Channel slope (m/m)
Japan	A	0.23	0.78	0.421	0.352
	B	0.25	1.08	0.493	0.357
	C	0.26	0.96	0.516	0.355



敬請指教